

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Provozně-ekonomické hodnocení městské hromadné dopravy
v Ostravě

Operational and Economic Evaluation of Urban Public Transport
in Ostrava

Student: Bc. Jana Vajdíková

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jana Vajdíková**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie
Specializace: 20 Silniční doprava
Téma: **Provozně-ekonomické hodnocení městské hromadné dopravy v Ostravě**

Operational and Economic Evaluation of Urban Public Transport in Ostrava

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Analýzovat vývoj ekonomických a provozních ukazatelů MHD a vyhodnotit míru koordinace uvnitř i vně systému MHD, zkoumat příčiny změn v počtu přepravených osob a určit míru jejich vlivu. Zpracovat návrhy na zvýšení spolehlivosti a hospodárnosti MHD. Návrhy vyhodnotit.

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Analýza ekonomických a provozních ukazatelů.
3. Vyhodnocení míry koordinace systému MHD.
4. S použitím matematických metod prognózování stanovit změny v počtu přepravených osob.
5. Návrh na zvýšení spolehlivosti a hospodárnosti MHD.
6. Vyhodnocení návrhu.
7. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Surovec, P. :Provoz a ekonomika silniční dopravy I. VŠB-TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-735-X.
2. Surovec, P. :Tvorba systému mestskej hromadnej dopravy. Žilinská univerzita Žilina, 1999. ISBN 80-7100-586-X.
3. Interní materiály DPO, a.s.
4. Meloun, M. Militký, . Statistické zpracování experimentálních dat v chemometrii, biometrii, ekonometrii a v dalších oborech přírodních, technických a společenských věd. 2. vyd. Praha: East Publishing, 1998. 839 s. ISBN 80-7219-003-2
5. Anděl, J. Statistické metody 4. upr. vyd. Praha: Matfyzpress, 2007. 299 s. ISBN 80-7378-003-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivana Olivková, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).

- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.

- souhlasím s tím, že údaje o diplomové, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jana Vajdíková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Karolínská 3, 70 00 Ostrava 1

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VAJDÍKOVÁ, J. *Provozně-ekonomické hodnocení městské hromadné dopravy v Ostravě: diplomová práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, vedoucí práce: Olivková, I.

V diplomové práci jsem provedla analýzu provozních a ekonomických ukazatelů městské hromadné dopravy v Ostravě. Korelační analýzou jsem stanovila míru závislosti jednotlivých faktorů ovlivňujících počet přepravených osob. Pro zlepšení hospodárnosti a spolehlivosti MHD jsem navrhla preference tramvají na světelných signalizačních zařízeních. Uskutečnila jsem průzkum jednotlivých tramvajových linek a z výsledků jsem provedla výpočet úspor po zavedení preferencí.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

VAJDÍKOVÁ, J. . *Operational and Economic Evaluation of Urban Public Transport in Ostrava. Master Thesis*: Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 52 p. Thesis head: Olivková, I.

In my Master Thesis I concentrated on the analysis of operational and economical indicators of the Public transport in Ostrava. I made a correlative analysis and I determined the level of an addiction according to individua factors which affect the numer of the transported people. To improve the frugality and reliability of the public transport I suggested in my work tram preference at the traffic lights of the signal system. I also made a tram lines noviny survey and from the results of survey I made a profit taking calculation after the implementation of my suggested preference.

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	8
0 Úvod.....	9
1 Analýza ekonomických a provozních ukazatelů.....	10
1.1 MHD v Ostravě.....	10
1.2 Provozně-technické ukazatele.....	12
2.3 Metody provozně-ekonomického hodnocení MHD	18
2.4 Ekonomické ukazatele	25
2 Vyhodnocení míry koordinace.....	28
2.1 Koordinace systému MHD	28
2.2 Vnitřní koordinace	29
2.3 Vnější koordinace	30
3 S použitím matematických metod prognózování stanovit změny v počtu přepravených osob	33
3.1 Přepravené osoby MHD	33
3.2 Metoda hodnocení míry závislosti.....	35
3.3 Míra závislosti intenzity dopravy.....	36
3.4 Míra závislosti cen PHM	38
3.5 Míra závislosti počtu obyvatel a zaměstnanosti	40
3.6 Regresní analýza	42
4 Návrh na zvýšení spolehlivosti a hospodárnosti MHD.....	43
4.1 Preference na SSZ	43
4.2 Preference tramvají	44
4.3 Navrhovaná opatření	49
4.4 Teoretické rozdělení pravděpodobnosti	51
5 Vyhodnocení návrhu.....	55
5.1 Efekty preference tramvají.....	55
5.2 Výpočet úspor rozjezdů na SSZ.....	56
5.3 Zvýšení spolehlivosti	62
6 Závěr	64
7 Seznam použité literatury	65
8 Seznam příloh.....	66

Seznam použitých zkratek:

DPO a.s.	Dopravní podnik Ostrava akciová společnost
OK a.s.	Ostravské komunikace akciová společnost
ÚP	Úřad práce
ČD	České dráhy
MMO	Magistrát města Ostravy
MHD	Městská hromadná doprava
PAD	Příměstská autobusová doprava
IAD	Individuální automobilová doprava
PHM	Pohonné hmoty
SSZ	Světelné signalizační zařízení
tzv.	tak zvaně
tis.	tisíce
ks	kus
tj.	to je
sec.	sekunda
min.	minuta
apod.	a podobně
km	kilometr
vozk _{km}	vozový kilometr
míst _{km}	místový kilometr
h	hodina

0 Úvod

Ostrava je počtem obyvatel třetím největším městem České republiky, rozlohou druhým největším městem České republiky a zároveň největším městem Moravskoslezského kraje. Má výhodnou strategickou polohu, nachází se 360 km východně od hlavního města Prahy, 310 km severně od Vídně, blízko státní hranice s Polskem, která probíhá cca 10 km severně od městského centra, hranice se Slovenskem je ve vzdálenosti 50 km východním směrem. Ostrava patří k významným dopravním tepnám a je velmi snadno dostupná po silniční i železniční síti. Představuje významný dopravní uzel a hlavní křižovátku Moravskoslezského kraje. Mezinárodní Letiště Leoše Janáčka Ostrava je vzdáleno 25 km od centra Ostravy. Městská silniční komunikační síť přesahuje délku tisíc kilometrů. Rozloha města Ostravy je 214,27 km². V současnosti tvoří Ostravu dle jejího statutu 23 městských obvodů. Počet obyvatel města Ostravy činil 305 816 osob, počet obyvatel v správně přiřazených obcích byl 29 036 osob. Tyto údaje jsou zaznamenány k datu 31.12.2008. [8]

Počátky městské hromadné dopravy v Ostravě sahají až do dob Rakouska-Uherska. Provoz první tramvaje byl zahájen 18. srpna 1894 na trase Přívoz – Moravská Ostrava – Vítkovice. V roce 1901 do ulic Ostravy vyjely první vozy elektrické pouliční dráhy a začaly tak nahrazovat původní parní tramvaje. V roce 1930 byl zahájen provoz autobusových linek a v roce 1952 byla zřízena trolejbusová doprava.

Doprava je jednou ze složek, které významně ovlivňují ovzduší, přičemž hustota automobilového provozu a počet vozidel projíždějících po městských komunikacích stále narůstá. Moderní MHD může být účinným regulátorem silniční dopravy a významně tak chránit především centra větších měst od přetížení automobily.

Cílem diplomové práce je analýza vývoje provozních a ekonomických ukazatelů MHD, vyhodnocení míry koordinace uvnitř i vně systému MHD, zkoumání příčiny změn v počtu přepravených osob a určit míru jejich vlivu. Zpracovat návrhy na zvýšení spolehlivosti a hospodárnosti MHD a návrhy vyhodnotit.

1 Analýza ekonomických a provozních ukazatelů

1.1 MHD v Ostravě

Rozdělení dopravy

Z hlediska funkce se doprava dělí na dopravu osobní a nákladní. Osobní dopravu můžeme dále rozdělit z hlediska užívání dopravních prostředků na hromadnou a individuální. Zvláštním druhem hromadné osobní dopravy je městská hromadná doprava. Zajišťuje přepravu osob kolejovými a nekolejovými dopravními prostředky v rámci města, popřípadě i v částech jeho zájmového území. MHD tvoří samostatný dopravní a přepravní systém.

Ostravský integrovaný systém (ODIS) vznikl v listopadu 1997. Správou integrovaného systému se zabývá Koordinátor Ostravského dopravního integrovaného systému s.r.o..

Integrovanou dopravou se rozumí zajišťování dopravní obslužnosti území veřejnou osobní dopravou jednotlivými dopravci v silniční dopravě společně nebo dopravci v silniční dopravě společně s dopravci v jiném druhu dopravy nebo jedním dopravcem provozujícím více druhů dopravy, pokud se dopravci podílejí na plnění přepravní smlouvy podle smluvních přepravních a tarifních podmínek.

Pro linky MHD existují jiná pravidla než pro linky PAD, které ani jednotný IDS nedokáže odstranit. Například v oblasti tarifu jsou vyhláškou stanoveny minimální slevy, které musí dopravce na linkách PAD poskytovat, a stejně tak minimální slevy, které musí poskytovat dopravce na lince MHD. Samozřejmě se výše těchto slev u obou doprav liší. Příklad: Minimální sleva na předplatné jízdenky pro studenty v MHD činí 50 %. V PAD tomu tak není, zde je tato sleva stanovená na 25 %. V praxi se tak musí do ceníku IDS zařadit ta vyšší sleva, aby nebyla porušena vyhláška. Jiná situace je u žákovského jízdného pro jednotlivé jízdenky. Zatímco na linkách MHD nic takového není nařízeno (ani kompenzováno státem), na linkách PAD musí řidič vydat žákovi do 15 let jízdenku se slevou 62,5 % a studentovi do 26 let jízdenku se slevou 25 %. Samozřejmě pouze na cestu do a ze školy a na základě platného žákovského průkazu. To platí i pro linky zařazené do IDS a samozřejmě i ve vlacích.

Další rozdíl je i v tom, kdo vydává licenci. Pro linku MHD je to vždy příslušná obec s rozšířenou působností, pro příměstské linky vždy příslušný kraj. Pro mezinárodní linky to je Ministerstvo dopravy. Pro linky MHD Ostrava vydává licenci město Ostrava.

Tab.č.1.1 - Zapojení dopravci v ODIS k 1.1.2008

České dráhy a.s.	
Dopravní podnik Ostrava a.s.	
Městský dopravní podnik Opava, a.s.	
Veolia Transport Morava a.s.	
TQM-holding s.r.o.	
Osoblažská Dopravní Společnost, s.r.o.	
ČSAD Frýdek-Místek a.s. ČSAD Karviná a.s.	
Radovan Maxner	

MHD v Ostravě zajišťuje pouze a výhradně Dopravní podnik Ostrava a.s.. Příměstská autobusová doprava - PAD, má licenci vydanou Moravskoslezským krajem, nikoli městem Ostravou. Respektive u železnice se pak jedná o veřejnou drážní dopravu, která opět nemá nic společného s MHD. Společný s MHD mají pouze Tarif ODIS, jsou provozovány v rámci jednoho IDS.

Co se týče pohybu cestujících, plní na území města Ostravy příměstské linky a některé železniční linky funkci MHD. Byť mohou cestující na některých linkách volit dopravce dále se budu soustředit v diplomové práci pouze na rozbor DPO a.s..

Výkony uskutečněné na území města Ostravy jednotlivými dopravci v roce 2008 uvádím v tabulce č. 1.2, informace mi poskytnul Koordinátor Ostravského dopravního integrovaného systému s.r.o..

Tab.č.1.2 – Výkony dopravců na území města Ostravy za rok 2008[14]

Dopravce		vozokm	podíl v %
Dopravní podnik Ostrava a.s.		33 572 217	82,24
České dráhy,a.s.		5 982 180	14,65
ČSAD Karviná a.s.		288 315	0,71
Radovan Maxner		7 152	0,02
Veolia Transport Morava a.s.	provozovna NJ	28 865	0,07
	provozovna Ov	802 643	1,97
TQM-holding s.r.o.		140 816	0,34
Celkem		40 822 188	100

1.2 Provozně-technické ukazatele

Městskou hromadnou dopravu v Ostravě provozuje akciová společnost Dopravní podnik Ostrava. Zakladatelem této společnosti, která je posledním pokračovatelem dopravců ve více než stoleté historii hromadné dopravy v našem regionu, je Statutární město Ostrava. Mimo poskytování služeb MHD se zabývá projektováním dopravní obsluhy území, montáží tramvají a trolejbusů, opravami a modernizací dopravních prostředků.

Základní údaje o dopravě

Tab.č.1.3a – Základní údaje o dopravě MHD Ostrava [4]

Tramvaje	2004	2005	2006	2007	2008
Počet linek	15	15	16	16	17
Délka linek v km	200,7	201,8	207,5	208,9	213,5
Počet vozidel	293	290	292	290	283
Počet řidičů	358	356	350	335	328
Ujeté vozkm (v tis.km)	15617	15144	14356	14230	14079
Délka provozní sítě (v km)	65,2	65,7	65,7	65,7	65,7
Oběžná rychlost km/h	17,53	16,93	17,52	17,54	17,27

Tab.č.1.3b – Základní údaje o dopravě MHD Ostrava [4]

Trolejbusy	2004	2005	2006	2007	2008
Počet linek	10	10	11	10	9
Délka linek v km	78,8	77,6	90,4	86,9	81,9
Počet vozidel	63	65	65	66	64
Počet řidičů	137	134	131	130	126
Ujeté vozkm (v tis.km)	3188	3119	3018	2999	3075
Délka provozní sítě (v km)	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3
Oběžná rychlost km/h	13,64	13,7	13,97	14,35	14,29

Tab.č.1.3c – Základní údaje o dopravě MHD Ostrava [4]

Autobusy	2004	2005	2006	2007	2008
Počet linek	64	63	62	67	62
Délka linek v km	863,7	843,9	859,7	887,4	826,2
Počet vozidel	335	324	319	318	321
Počet řidičů	590	586	573	572	582
Ujeté vozkm (v tis.km)	18301	18412	18399	18285	18289
Délka provozní sítě (v km)	357,5	363,8	364,1	380,5	376,4
Oběžná rychlost km/h	17,86	18,34	19,07	18,97	18,94

Dopravní podnik Ostrava a.s. zajišťuje činnost městské hromadné dopravy autobusy, tramvaji a trolejbusy. Servis vozidel zajišťují dvě autobusové vozovny (Autobusy Hranečnick, Autobusy Poruba), dvě tramvajové vozovny (Tramvaje Ostrava, Tramvaje Poruba) a jedna trolejbusová vozovna (Trolejbusy Ostrava). Těžkou údržbu a modernizace kolejových vozidel provádí Dílny Dopravního podniku Ostrava a.s. v Martinově. V rámci pravidelné údržby a zajištění bezporuchového provozu na tramvajových linkách dochází k postupné výměně kolejnic, pražců a dalších příslušenství dopravní cesty.

Stav vozového parku MHD k 31.12.2008

Tramvaje

typ	počet
Škoda Inekon – Astra	14
Inekon 2001 – TRIO	9
ČKD K2	8
ČKD KT 8 D5	16
ČKD T3	171

ČKD T6 A5	38
Vario LFR.E	21
Vario LF3	3
Vario LF2	1
VV60 LF (vlek)	2

Celkem 283

Trolejbusy

Typ	počet
Škoda 14 Tr	21
Škoda 15 Tr – kloubový	15
Škoda 21 Tr	15
Solaris Trollino 12	14
Solaris Trollino 15	4
Solaris Trollino 18	1
Celkem	64

Autobusy

typ	počet
Irisbus Citelis 12	12
Karosa B 732	59
Karosa B 741	14
Karosa B 932	58
Karosa B 941	38
Karosa B 952	45
Karosa B 961	8
Karosa C 954	1
Karosa – Renault	13
Mercedes Benz	5
Solaris Urbino 12	36
Solaris Urbino 12H	1
Solaris Urbino 15	28
MaveFiat - minibus	3
Celkem	321

Součinitel využití vozového parku

Součinitel využití vozového parku udává míru využití normy doby provozu na přepravní práci a určí se dle vzorce: [1]

$$\alpha = \frac{VH_{pr}}{VH_{ev}} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1.1)$$

α součinitel využití vozového parku [%]

VH_{pr} vozohodiny v provozu (využité na přepravní práci) [h]

VH_{ev} vozohodiny v evidenci (norma doby provozu) [h]

Součinitel využití jízd

Součinitel využití jízd udává míru využití dosažené přepravní práce nebo dopravního výkonu, hodnocení součinitele je omezeno na posuzování využitě a nevyužitě ujeté vzdálenosti. V hromadné osobní dopravě se za využitou považuje každá vzdálenost ujetá na lince podle jízdního řádu, bez ohledu na to, zda byli přepravováni cestující. Za nevyužitou se v hromadné osobní dopravě považuje vzdálenost ujetá ze stanoviště (garáže, odstavné plochy) na linku a zpět (přístavné a odstavné jízdy) a vzdálenost ujetá při jízdě mezi linkami bez cestujících. Z toho vyplývá snaha dopravce organizovat dopravu na dopravní síti tak, aby přístavné a odstavné jízdy byly co nejkratší, a aby celková dopravní práce byla co nejvíce využita na linkách k přepravě osob.

Součinitel využití jízd pro jedno vozidlo nebo skupinu vozidel o stejné kapacitě se vypočítá jako podíl využitě dopravní práce k celkové dopravní práci v kilometrech podle vzorce: [1]

$$\beta = \frac{L_Z}{L} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1.2)$$

β součinitel využití jízd jednoho vozidla [%]

L_Z dopravní práce využitá k přepravě osob [km]

L celková dopravní práce [km]

Součinitel využití jízd pro celý vozový park se nebo skupinu vozidel o různých kapacitách se vypočítá následujícím způsobem: [1]

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n {}^1L_{Zi} \cdot K_i}{\sum_{i=1}^n {}^1L_i \cdot K_i} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.3)$$

β součinitel využití jízd vozového parku [%]

${}^1L_{Zi}$ dopravní práce i-tého vozidla využitá k přepravě osob [km]

1L_i celková dopravní práce i-tého vozidla [km]

K_i kapacita i-tého vozidla [místo]

Součinitel využití obsaditelnosti vozidel

Součinitel využití obsaditelnosti vozidel je dán poměrem skutečně přepraveného množství osob k počtu osob, které lze maximálně přepravit, resp. poměrem skutečně dosažené přepravní práce k maximální možné dosažitelné přepravní práci a vypočítá se podle vztahu: [1]

$$\gamma = \frac{P_{sk}}{P_{max}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.4)$$

γ součinitel využití obsaditelnosti vozidla [%]

P_{sk} skutečně dosažená přepravní práce [oskm]

P_{max} maximální možná přepravní práce = dopravní práce [oskm = místkm]

Provozně-technické parametry použitých dopravních prostředků patří mezi ukazatele, které významně ovlivňují dopravní a přepravní výkony, produktivitu práce a investiční, energetickou, materiálovou i pracovní náročnost. Ve svém souhrnu provozně-technické parametry vozidel působí na výslednou efektivnost dopravního procesu. Výběr dopravního prostředku je proto třeba provádět tak, aby co nejlépe odpovídal provozním podmínkám i požadavkům bezpečnosti a hospodárnosti.

Kapacita v dopravě je schopnost dopravních prostředků přepravit určité množství osob a věcí. Kapacita je nabídka míst, plochy, prostoru nebo užitečné hmotnosti k přepravě.

Ze statického hlediska je kapacita v hromadné osobní dopravě definována jako obsaditelnost vozidla. Z dynamického hlediska je kapacita v hromadné osobní dopravě definována jako přepravní kapacita.

Obsaditelnost vozidla [místo]

Obsaditelnost vozidla udává množství osob, které mohou být umístěny ve vozidle v konkrétním daném okamžiku. Uvádí se v počtu míst, který je součtem počtu míst k sezení a počtu míst k stání.

Normální (normovaná) obsaditelnost – používá se při plánování, návrhu a řízení dopravního systému. Je vymezena požadavky na kvalitu přepravy a vychází z těchto údajů:

- 0,2 až 0,25 m² užité plochy na 1 místo k stání (tj. 5 až 4 osoby na 1 m²)
- 0,315 m² užité plochy na 1 místo k sedění

Maximální obsaditelnost – je vypočtena z užité hmotnosti s použitím průměrné hmotnosti jednoho cestujícího:

- v MHD: 70 kg

Maximální obsaditelnost vychází z těchto údajů:

- 0,125 m² užité plochy na 1 místo k stání (tj. 8 osob na 1 m²)
- 0,315 m² užité plochy na 1 místo k sedění

Poměr počtu míst k sedění k počtu míst k stání je ovlivněn konstrukcí vozidla dle účelu jeho použití:

- v MHD: cestující se přepravují na malou přepravní vzdálenost a poměr počtu míst k sedění k počtu míst k stání je v rozmezí 1:2 až 1:4

Přepravní kapacita [místo/h]

Přepravní kapacita v hromadné osobní dopravě je schopnost dopravních prostředků přepravit za jednotku času určité množství osob v jednom přepravním směru měřeno v profilu komunikace. (Jde tedy o nabídku míst v určitém čase.).

Přepravní kapacita O_t je funkcí obsaditelnosti vozidel a intervalu dopravy:[1]

$$O_t = \frac{K \cdot \gamma \cdot 60}{i} \quad [\text{místo/h}] \quad (1.5)$$

K..... kapacita vozidla daná normální obsaditelností vozidla [místo]

γ součinitel využití kapacity (ve špičce = 1,0; v sedle < 0,8) [-]

i..... linkový interval dopravy [min]

1.3 Metody provozně-ekonomického hodnocení MHD

Pro hodnocení dopravy je možno použít množství hodnotících kritérií. Tato kritéria lze rozdělit do několika kategorií.

Provozní kritéria:	Souvisejí pouze s provozem (např. dostupnost cíle cest, četnost spojů, kvalita atd.)
Výkonová kritéria:	Hodnotící výkon dopravy (např. roční proběh km)
Ekonomická kritéria:	Náklady vzniklé provozováním dopravy vztahované na výkony dopravy

Provozní hodnocení dopravy

Časová dostupnost zastávek – graficky lze hodnotit s použitím izochron časové dostupnosti. Izochrona časové dostupnosti zastávky je čára, ze které je stejná doba chůze k zastávce. Je to kružnice o poloměru rovném zvolené době dostupnosti, která je přenesena do délkové míry podle rychlosti chůze a měřítka mapy nebo schématu.[1]

V prostředí grafického programu CorelDraw jsem vytvořila izochrony časové dostupnosti těchto zastávek 5 a 10 minut. Poloměry odpovídající minutám chůze jsem počítala z průměrné rychlosti chůze 4km/h. Této rychlosti odpovídá pro 5 minut chůze vzdálenost 360 metrů a pro 10 minut 720 metrů. Pro vytvoření izochron jsem zvolila trasu autobusové linky č. 32. Nepředpokládám, že by významnější procento zájemců o přepravu šlo pěšky na zastávku déle než 15 minut, proto jsem volila poloměry izochron odpovídající 5 a 10 minutám chůze. Zobrazení je v příloze A.

Nepřímost linky - je také jedno z hodnotících kritérií. Je to podíl provozní délky linky a nejkratší spojnice konečných zastávek vedené po dopravní síti. Jako nejvýhodnější hodnota ve vztahu k dopravní obsluze z hlediska přestupů a k ekonomice dopravy se uvádí nepřímost 1,2 až 1,3. V případě okružních linek se nepřímost linky nehodnotí.[1]

Pro posouzení indexu nepřímosti volím tramvajové linky č.3 a č.17 v úseku mezi zastávkami Dubina Interspar a Poruba vozovna. Provozní délka linky č.3 v daném úseku je 14,8 km, provozní délka linky č.17 je v daném úseku 10,8 km. Provozní délka linky a také nejkratší spojnice konečných zastávek je 13,7 km. Délka spojnice společná pro obě linky =10 km.

Linka č. 3: index nepřímosti = 1,48

Linka č.17: index nepřímosti = 1,08

Nejvýhodnější udávaná hodnota nepřímosti linky byla u linky č.3 překročena. Tato linka slouží spíše pro svezení několik zastávek, ale pro rychlou přepravu z Dubiny do Poruby ji cestující volit nebude.

Porovnání jsem také provedla u tramvajových linek č.2 a č.6. Obě jezdí v úseku mezi zastávkami Nové Výškovice a Náměstí republiky. Provozní délka linky č.2 je v daném úseku 8,8 km a jízdní doba 22 min., provozní doba linky č.6 je 9,3 km a jízdní doba 21 min. Linka č.2 má kratší vzdálenost v km, ale je časově delší, důvodem je vedení tratě linky přes sídliště. Linka č.6 má delší vzdálenost v km, ale časově je kratší. Nejkratší trať tedy nezaručuje vždy nejkratší cestovní dobu. Cestující očekávají především rychlost přepravy.

Nosné linky by měly mít index nepřímosti co nejblíže 1. Vzorový příklad v Ostravské MHD je stěžejní tramvajová linka č.8, která má index nepřímosti 1.

Linkový součinitel - udává podíl součtu provozních délek všech pravidelných linek k provozní délce dopravní sítě. Dosahuje hodnot větších než 1 a vyjadřuje míru souběhu linek na dopravní síti nebo ve vymezené oblasti.[1]

$$\text{Linkový součinitel vypočítaný podle vzorce: } \tau = \frac{\sum_{j=1}^m l_{jz}}{MHD L} [-] \quad (1.6)$$

τ linkový součinitel [-]

l_{zj} provozní délka j-té linky [km]

$^{MHD} L$ provozní délka sítě MHD [km]

m počet provozovaných linek na dopravní síti MHD [-]

Tab.č. 1.4 – Linkové součinitele jednotlivých linek a celé sítě DP Ostrava (v roce 2008)

	Provozní délka sítě L[km]	Součet provozních délek sítě l_z [km]	Linkový součinitel τ [-]
Tramvaje	65,7	213,5	3,249
Trolejbusy	29,3	81,9	2,795
Autobusy	376,4	862,2	2,290
Celkem	471,4	1157,6	2,455

Linky provozované DP Ostrava a.s. mají relativně velký souběh linek. Velký souběh linek umožňuje v době přepravní špičky snadnější dosažení centra města z jiných městských částí.

Hodnocení výkonnosti dopravy

Ukazatele jsou dopravní výkon, přepravní výkon, počet přepravených osob. Dopravní výkon je výkon dopravní činnosti, který je nutný k dosažení přepravního výkonu. Přepravní výkon je výsledný produkt dopravy, kterým je přeprava osob na určitou vzdálenost v prostoru a čase. V hromadné silniční a městské osobní dopravě se dopravním výkonem rozumí dopravní práce za danou časovou jednotku. Dopravní práci hodnotíme v jednotkách:

- kilometr [km]
- vozový kilometr [vozkm]
- místový kilometr [místkm]

Dopravní práce udaná v kilometrech se používá k hodnocení výkonů jednoho vozidla nebo skupiny vozidel stejného druhu, typu a obsaditelnosti. Ujetá vzdálenost jednoho vozidla za danou dobu provozu je složena z využitě (zatížené) a nevyužitě (nezatížené, prázdné) části celkové jízdy, tedy:[1]

$${}^1L = {}^1L_z + {}^1L_o = n_s \cdot l_z + \sum_{i=1}^m l_{oi} \quad [\text{km}] \quad (1.7)$$

1L dopravní práce (celková ujetá vzdálenost) jednoho vozidla za danou dobu provozu [km]

1L_z vzdálenost ujetá jedním vozidlem na pravidelné lince podle jízdního řádu, resp. vzdálenost ujetá s cestujícími v nepravidelné dopravě [km]

1L_o vzdálenost ujetá jedním vozidlem bez cestujících (přistavení a odstavení vozidla) [km]

n_s počet spojů jednoho vozidla za dobu provozu na lince [-]
 l_z provozní délka linky [km]
 l_{oi} vzdálenost i-té přístavné, resp. odstavné jízdy jednoho vozidla [km]
 m počet přístavných a odstavných jízd [-]

Dopravní práce udaná ve vozových kilometrech se používá k hodnocení výkonů souprav vozidel nebo skupiny vozidel stejného druhu, typu a obsaditelnosti. Údaj je použit např. při plánování pravidelné údržby vozidel nebo při hodnocení ekonomiky dopravy. Dopravní práce se pak určí z následujícího vztahu: [1]

$${}^1L_{vkm} = N \cdot {}^1L_z \quad [\text{vozkm}] \quad (1.8)$$

${}^1L_{vkm}$ dopravní práce (celkové vozové kilometry) jedné soupravy vozidel nebo skupiny vozidel [vozkm]

N počet vozidel v soupravě nebo skupině [-]

1L_z dopravní práce (celková ujetá vzdálenost) jedné soupravy vozidel nebo skupiny vozidel [km]

Dopravní práce udaná v místových kilometrech se používá pro vozidla a skupiny vozidel různých druhů, typů a obsaditelnosti. Její uplatnění se nachází také při hodnocení přepravní kapacity a ekonomiky dopravy. Teoreticky se dopravní práce rovná maximálně dosažitelné přepravní práci při určité obsaditelnosti vozidla během jízdy a vypočítá se podle vzorce: [1]

$$L_{mkm} = \sum_{j=1}^m K_j \cdot l_j \quad [\text{místkm}] \quad (1.9)$$

L_{mkm} celková dopravní práce vozidel [místkm]

K_j kapacita (obsaditelnost) j-tého vozidla nebo soupravy vozidel [místo]

l_j vzdálenost ujetá j-tým vozidlem (soupravou) [km]

Přepravní výkon je výsledným produktem dopravy, kterým je přeprava osob na určitou vzdálenost v prostoru a čase. V hromadné osobní dopravě se přepravní výkon vyjadřuje dosaženou přepravní prací v osobových kilometrech za časovou jednotku.

Přepravní práce je násobkem počtu přepravených osob a jimi ujeté přepravní vzdálenosti. Přepravní práce 1 osobový kilometr představuje práci přepravy jedné osoby na vzdálenost 1 km jízdou ve vozidle. Přepravní práce, která je výsledkem uspokojení přepravních potřeb osob v prostoru a čase na daném spoji linky, se určí sumarizací přepravní práce, zjištěné mezi jednotlivými zastávkami daného spoje, tedy: [1]

$$P_{jkg} = \sum_{i=1}^m (o_n - o_v) \cdot \bar{l}_{Zi,m} \quad [\text{oskm}] \quad (1.10)$$

P_{jkg} přepravní práce, dosažená na j-tém spoji k-té linky g-tým vozidlem [oskm]

o_{ni} počet osob, které nastoupily na i-té zastávce [osoba]

o_{vi} počet osob, které vystoupily na i-té zastávce [osoba]

$(o_n - o_v)_i$ rozdíl počtu nastupujících a vystupujících osob na i-té zastávce [osoba]

$l_{zi,m}$ přepravní vzdálenost, resp. jízda s cestujícími z i-té do m-té zastávky [km]

Výše uvedený vzorec je v praxi obtížně použitelný, proto se uplatňuje také výpočet přepravní práce prostřednictvím středních hodnot získaných dopravním průzkumem, prognostickými metodami nebo kvalifikovaným odhadem. Výpočet přepravní práce pak lze provést podle následujících vztahů: [1]

$$P_{jkg} = \bar{o} \cdot L_{Zjkg} \quad [\text{oskm}] \quad (1.11)$$

$$P_{jkg} = O_{jkg} \cdot \bar{l}_{Zjkg} \quad [\text{oskm}] \quad (1.12)$$

P_{jkg} přepravní práce, dosažená na j-tém spoji k-té linky g-tým vozidlem [oskm]

\bar{o}_{jkg} průměrný počet přepravených osob na j-tém spoji k-té linky v g-tém vozidle
[osoba]

L_{Zjkg} skutečná přepravní vzdálenost cestujících na j-tém spoji k-té linky v g-tém vozidle [km]

O_{jkg} skutečný celkový počet přepravených osob na j-tém spoji k-té linky v g-tém vozidle [osoba]

l_{zjkg} průměrná přepravní vzdálenost cestujících na j-tém spoji k-té linky v g-tém vozidle [km]

Průměrně přepravované množství osob je průměrný počet osob připadajících na jeden kilometr ujeté vzdálenosti ve vozidle při přepravě. Průměrný počet přepravených osob je možné vypočítat z dosažené přepravní práce a odpovídající přepravní vzdálenosti následovně: [1]

$$\bar{o} = \frac{P_{sk}}{L_Z} \quad [\text{osoba}] \quad (1.13)$$

$$\bar{o} = \frac{O \cdot \bar{l}_Z}{N_S \cdot l_{Zj}} \quad [\text{osoba}] \quad (1.14)$$

$$\bar{o} = \frac{O}{N_S \cdot \eta_V} \quad [\text{osoba}] \quad (1.15)$$

\bar{o} průměrně přepravované množství osob [osoba]

P_{sk} skutečná přepravní práce na pravidelné lince [oskm]

L_Z celkem ujetá vzdálenost využitá k přepravě osob [km]

O celkový počet přepravených osob na lince [osoba]

\bar{l}_Z průměrná přepravní vzdálenost [km]

l_{Zj} ujetá přepravní vzdálenost nebo provozní délka linky pro j-tý spoj [km]

N_S celkový počet spojů na lince [-]

η_V součinitel výměny cestujících na lince [-]

V průběhu sledovaného období od roku 2005 do roku 2008 klesal počet přepravených cestujících a i počet vozových kilometrů. Vývoj jednotlivých trakcí jsem uvedla v tabulce č. 1.5. V roce 2005 bylo průměrně přepraveno na 1 ujetý vozkm autobusy 2,72 osob,

tramvajemi 3,91 osob a trolejbusy 2,54 osob. V roce 2008 došlo k poklesu průměru přepravených osob na 1 vozkm u všech trakcí, autobusy na 2,59 osob, tramvaje 3,79 osob a trolejbusy 2,52 osob. V tabulce č. 1.6 je uveden počet přepravených osob jednotlivých trakcí ve sledovaném období. Údaje mi poskytl DP Ostrava a.s..

Tab. č 1.5 a - Ujeté vozkm [4]

		2005	2006	2007	2008
Autobusy	1000 os.	18 412	18 399	18 285	18 289
Tramvaje	1000 os.	15 144	14 356	14 230	14 079
Trolejbusy	1000 os.	3 119	3 018	2 999	3 075
Celkem	1000 os.	36 675	35 773	35 514	35 443

Tab. č.1.5 b – Ujeté vozkm v %

		2005	2006	2007	2008
Autobusy	%	50,2	51,4	51,5	51,6
Tramvaje	%	41,3	40,1	40,1	39,7
Trolejbusy	%	8,5	8,5	8,4	8,7
Celkem	%	100	100	100	100

Tab. č.1.6 a - Přepravené osoby[4]

		2005	2006	2007	2008
Autobusy	1000 os.	50131	50419	49998	47447
Tramvaje	1000 os.	59 169	56928	56240	53420
Trolejbusy	1000 os.	7912	7755	7895	7747
Celkem	1000 os.	117 212	115 102	114 133	108 614

Tab. č.1.6 b – Přepravené osoby v %

		2005	2006	2007	2008
Autobusy	%	42,8	43,8	43,8	43,7
Tramvaje	%	50,5	49,5	49,3	49,2
Trolejbusy	%	6,7	6,7	6,9	7,1
Celkem	%	100	100	100	100

1.4 Ekonomické ukazatele

Z ekonomického hlediska se provoz a rozvoj společnosti odvíjí od finančních možností akcionáře, kterým je Statutární město Ostrava. Především se to projevuje výší provozní a investiční dotace. Dalším zdrojem zisků jsou podnikatelské aktivity DPO. Finanční zdroje Dopravního podniku Ostrava a.s. jsou tedy jednak tvořeny dotacemi z rozpočtů měst, obcí a státu a jednak vlastními zdroji, které tvoří tržby z MHD, tržby za vlastní výkony a služby, tržby za zboží a ostatní výnosy. V rámci podnikatelských aktivit patří k vyvíjeným činnostem například poskytování reklamních služeb a montáž dopravních prostředků pro MHD nebo jejich komponentů. DPO však nevlastní autorská práva na výrobu vozidel a jejich komponentů, nemůže tedy vyvíjet vlastní obchodní činnost. Montáž realizuje pouze na základě požadavků odběratelů. Dotace ze státního rozpočtu byly využity především v rámci obnovy a modernizace vozového parku. Prioritou je zajišťování potřeb MHD a snižování průměrného stáří vozidel pro přepravu cestujících.

Tab. č. 1.7 – Struktura výnosů (v tis. Kč) [4]

	2004	2005	2006	2007	2008
Dotace měst a obcí	873 110	924 928	995 579	897 811	1052 859
z toho: Statutární město Ostrava	852 750	900 699	970 674	873 302	1025 453
Krajský úřad	8 824	11 436	11 803	11 746	13 377
Ostatní obce	11 536	12 793	13 102	12 763	14 029
Tržby z MHD	430 153	438 499	464 489	487 942	499 451
Prodané zboží	61 001	53 044	28 914	29 216	4 668
Výroba (včetně nedokončené) a služby	242 123	361 686	351 097	229 001	132 295
Aktivace	117 985	139 822	147 015	196 676	199 376
Ostatní výnosy	91 640	106 027	145 019	237 399	136 295
Výnosy celkem	1816012	2024006	2132113	2078045	2024 944

Tab. č. 1.8 – Struktura nákladů (v tis. Kč) [4]

	2004	2005	2006	2007	2008
Spotřeba paliv a energií	246 281	261 350	275 230	278 933	308 784
Spotřeba materiálu	396 770	553 475	506 332	422 055	351 630
Prodané zboží	54 860	46 527	25 250	25 187	3 753
Osobní náklady	714 677	743 239	762 297	811 405	854 075
Odpisy dlouhodobého majetku	258 898	270 657	286 892	286 849	281 987
Opravy a služby vč. rezerv na opravy majetku společnosti	36 059	60 117	91 571	132 619	109 799
Ostatní náklady	121 272	114 808	170 150	13 681	110 109
Náklady celkem	1829417	2050173	2117722	1970729	2020 137

V tabulce č. 1.7 je sestaven přehled struktury výnosu DPO a.s. v období 5 let. Výnosy sice každoročně stoupají, ale při porovnání s tabulkou č. 1.8 je vidět, že stoupají také celkové náklady. Každým rokem se tak stále zvyšují dotace města Ostravy. Od roku 2006 vykazuje DP Ostrava a.s. kladný hospodářský výsledek. Zdrojem dosaženého výsledku jsou podnikatelské aktivity, které na sebe dále váží významnou část režijních nákladů firmy a snižují tak potřebu dotace ke krytí ztrát z městské hromadné dopravy. Dotace akcionáře, Statutárního města Ostravy, se v průběhu sledovaného období téměř každoročně zvyšovaly. Výjimkou byl pouze rok 2007.

Tab. č. 1.9 – Výsledek hospodaření (v tis. Kč) [4]

Rok	2004	2005	2006	2007	2008
Výsledek hospodaření za účetní období	-13 405	-26 167	14 391	107 313	4 807

Hlavním podnikatelským záměrem DP Ostrava a.s. je uspokojování přepravních požadavků v rámci městské hromadné dopravy. Především dostatečnou nabídkou přepravních příležitostí určenou časově a prostorově, dále přepravní kapacitou a kvalitou přepravy.

V tabulce č.1.10 jsem sestavila přehled nákladů na MHD a jejich podíl na celkových nákladech DP Ostrava a.s. za období 5 let. Výše nákladů na MHD po celé období stoupala. V roce 2008 došlo k meziročnímu růstu nákladů na MHD o 3,6 %, v roce 2005 meziroční růst činil dokonce 7,4%. Neustálé zvyšování nákladů na MHD je ovlivněno především zvyšováním cen PHM, nákladů materiálu pro opravy a údržby a také stále se snižujícím počtem přepravených osob MHD. Úkolem DPO je minimalizovat ztrátu z provozování městské hromadné dopravy. Přistupuje proto k řadě úsporných opatření.

Tab.č.1.10 - Náklady MHD v letech 2004-2008 [4]

Rok	Náklady MHD	Podíl z celk.nákl v %
2004	1 326 494	72,5%
2005	1 424 978	69,5
2006	1 472 249	69,5
2007	1 507 260	76,40%
2008	1 561 206	77,30%

Z tabulky č.1.11 vyplývá, že každoročně dochází ke snížení vozových kilometrů, v místových kilometrech docházelo také ke snížení pouze s výjimkou roku 2008,

kdy nastalo mírné zvýšení, jelikož se zvýšil počet nově zařazených vozidel s vyšší obsaditelností. Naopak náklady na 1 vozový kilometr se každoročně zvyšují, v roce 2008 došlo k meziročnímu nárůstu o 3,79 %.

Tab.č 1.11 – Dopravní výkony a náklady v letech 2004-2008 [4]

	2004	2005	2006	2007	2008
Vozové kilometry MHD v tisících	37 106	36 675	35 773	35 514	35 443
Náklad na 1 vozový kilometr v Kč	35,75	38,85	41,16	42,44	44,05
Místové kilometry v tisících	3621970	3667452	3587447	3581549	3590737
Náklad na 100 místových km v Kč	36,06	36,1	41,04	42,08	43,48

Tab.č.1.12 – Počet prodaných jízdenek (v tis.ks) [4]

	2004	2005	2006	2007	2008
Dlouhodobé časové jízdenky	1 167	1 091	1 079	1 043	951
24hodinové jízdenky	353	458	324	278	241
Krátkodobé jízdenky	18 805	18 066	18 083	17 318	17 918
Celkem prodaných jízdenek	20 325	19 615	19 486	18 639	19 110

Tab.č.1.13 – Tržby z MHD (v tis.Kč) [4]

	2004	2005	2006	2007	2008
Dlouhodobé časové jízdenky	260 676	271 162	289 919	303 579	310 846
Krátkodobé jízdenky	162 592	160 273	174 570	184 363	188 605
Tržby MHD celkem	423 268	431 435	464 489	487 942	499 451

V tabulce č.1.12 je uveden přehled počtu prodaných jízdenek v letech 2004-2008, který se až do roku 2007 stále snižoval, avšak v roce 2008 došlo opět ke zvýšení počtu prodaných jízdenek proti roku předešlému. Dále jsem v tabulce č.1.13 zpřehlednila tržby z MHD v Ostravě v letech 2004-2008. Z tabulky sice vyplývá, že se tržby z MHD neustále zvyšují, je však nutno podotknout, že také dochází ke zvyšování cen jízdného. V roce 2008 se tržby MHD podíleli na krytí pouze 33% nákladů. Přehled vývoje cen jízdného v letech 1997-2008 uvádím v příloze č. B.

2 Vyhodnocení míry koordinace systému MHD

2.1 Koordinace MHD

Sladění návaznosti linek

Při zohlednění návaznosti rozlišujeme mezi návaznostmi interními a externími, nebo-li vnitřními a vnějšími. Interní návaznosti znamenají vazbu mezi jednotlivými linkami MHD navzájem, externí mezi linkami MHD a ostatní veřejnou dopravou, především se jedná o veřejnou linkovou autobusovou dopravu a železniční osobní dopravu.

Vnitřní návaznosti

Sladění vnitřních návazností je časové a prostorové setkávání všech nebo většiny linek MHD v centrálním přestupním bodu či bodech. Tento způsob koordinace přípojů je označován také jako tzv. systém časových uzlů. Linky MHD na území města lze obecně rozdělit do dvou skupin – linky páteřní a doplňující. Přičemž linky páteřní tvoří základní síť pro pokrytí rozhodujících přepravních potřeb města, doplňující linky tvoří doplnění linek páteřních. Závisí především na společném uspořádání sítě linek MHD. Trasování dvou nebo více linek do stejné lokality nebo paralelní obsluha delších traťových úseků vytváří možnost zahustit sled spojů díky posunu časových poloh spojů.

Vnější návaznosti

Z hlediska vnějších návazností opouští MHD nepřímo svoji čistě lokální oblast působnosti a je integrována do celkového systému veřejné dopravy. Do jaké míry jsou zahrnuty externí návaznosti do návrhů jízdních řádů, závisí na různých faktorech:

- poloha železničních stanic popř. železničních zastávek tak jako stanic, nebo zastávek regionální autobusové dopravy ve vztahu k síti linek systému MHD
- jízdní řády a linkové vedení regionální dopravy
- význam sousedního centra městské aglomerace

Vnější návaznosti hrají roli především u návazností mezi MHD a osobní železniční dopravou. Teoreticky se nabízí mnoho možností tvorby návazností. Obvykle jsou ponechány jen některé přestupní uzly, jejichž význam při tvorbě jízdních řádů naroste. Vedle bezpochyby přednostních požadavků z pohledu cestujících se zohledňují u tvorby

jízdních řádů a tím přímo i u linkového vedení také aspekty dostatečně hospodárního nasazování řidičů a vozidel. To může jít tak daleko, že spoje MHD jsou zaváděny podle časových poloh spojů regionální dopravy.[9]

2.2 Vnitřní koordinace

Ostravsko je územím s několika městskými centry, což je typické pro staré průmyslové oblasti. Dalo by se rozdělit na 3 hlavní oblasti, centrum města a dva velké sídlištní celky. Tramvajová doprava je zajišťována 17 linkami, délka provozovaných tramvajových linek je 213,5 km s celkovým počtem 98 zastávek. Páteřní tramvajovou dopravu tvoří 4 tramvajové linky, které obsluhují téměř všechny zásadní dopravní směry, mimo jiné zabezpečují základní dopravu do všech velkých sídlišť. Jedná se o linky č.1, 2, 8, 17. Tramvajová linka č. 1 zajišťuje dopravu mezi Hlavním nádražím a Dubinou Interspar, linka č. 2 – Hlavní nádraží – Výškovice, linka č. 8 – Hlavní nádraží – Vřesinská, linka č. 17 - Dubina Interspar – Vřesinská. Linky č. 18 a 19 jsou provozovány pouze v noci, spojení mezi Hlavním nádražím – Dubina Interspar a Dubina Interspar – Martinov, v hodinových intervalech. V průběhu pracovního dne, kdy je zřejmý zvýšený přepravní nárok jsou vypravovány posilující spoje – linky č. 6, 10, 13 a 14. Významné přepravní uzly MHD se většinou zřizují v blízkosti přepravních uzlů meziměstské dopravy.

Hlavní uzel tramvajové dopravy – Náměstí republiky, kde se sbíhá 11 tramvajových linek, zde je možno uskutečnit i přestupy na trolejbusové linky č. 103, 104, 105. Docházková vzdálenost na zastávku trolejbusů je do 5 minut. V době přepravní špičky jsou na všech tramvajových linkách spoje provozovány v intervalu 10 minut.

Druhým významným uzlem tramvajové dopravy je zastávka Svinov mosty, horní zastávka, zde se sbíhají linky č. 3, 4, 7, 8, 9, 17.

Některá menší sídliště a obytné celky jsou obsluhovány trolejbusovou dopravou, jedná se především o spojení Moravské Ostravy a Přívozu, Kblova, Muglinova, Heřmanic a Michálkovic. Trolejbusová doprava má v současnosti v pravidelném provozu 9 linek, které mají intervaly pohybující se v rozmezí od 10 do 20 minut. Délka provozovaných trolejbusových linek je 81,9 km s celkovým počtem 57 zastávek. Nejvýznamnější body trolejbusové sítě jsou zastávka Sad Boženy Němcové – linky č. 101,102,103,106,108,111, dále zastávka Husův sad – linka č. 102,103,104,105,108,109,111, zastávka Most Miloše Sýkory - linky č. 101,105,106,108,111.

Významnou roli mají samozřejmě také autobusové linky, kterých je celkem 59. Délka provozovaných autobusových linek je 776,6 km s 505 zastávkami. Významným uzlem autobusové dopravy je Hranečník - linka č. 22,23,28,29,30,32,38,71,74,78,97. Druhým významným uzlem je zastávka Svinov mosty. Horní zastávka – linka č. 36,37,39,49,54, Dolní zastávka – linka č. 43,46,51,53,64,73.

2.3 Vnější koordinace

Veřejná hromadná doprava na území Ostravy spadá do systému integrovaného dopravního systému ODIS. Kromě Ostravy je do systému zapojeno dalších 174 měst a obcí Moravskoslezského kraje. Základním prvkem integrovaného dopravního systému je společná a koordinovaná přepravní nabídka jednotlivých druhů dopravy a dopravců. Veřejné železniční osobní dopravy, veřejné linkové osobní dopravy a městské hromadné dopravy.

Ostrava má 5 železničních nádraží. Nejvýznamnějším je Ostrava-Svinov, v rámci České republiky třetí největší nádraží ČD a největším nádraží ČD na území Moravskoslezského kraje. Ostrava hlavní nádraží se nachází v městské části Přívoz. Dalšími jsou nádraží Ostrava-střed, Ostrava-Vítkovice a Ostrava-Kunčice. Od konce roku 2007 je v provozu nová železniční stanice Ostrava-Stodolní u Stodolní ulice.

Z Ostravy Svinova lze vlaky ČD, vedle míst na území ČR, cestovat například do Polska, na Slovensko, do Rakouska či Ruské Federace. Zajištěno je spojení regionálními vlaky ČD v 1–2 hodinovém taktu s významnými centry Moravskoslezského kraje Bohumín, Opava, Český Těšín, Havířov.

Návaznost je zajištěna s autobusovými a tramvajovými linkami. Autobusové linky zastavují na obou zastávkách Svinov mosty (horní a dolní) a některé také na zastávce Svinov nádraží. Tramvajové linky zastavují na horní zastávce Svinov mosty. Jsou to linky č. 3,4,7,8,9,17. Pro informování cestujících o odjezdu autobusových linek, které dopravně obsluhují nádraží v Ostravě Svinově slouží informační tabule systému ODIS umístěná v přednádražním prostoru.

V tabulce č. 2.2 je návaznost autobusových linek odjíždějících ze zastávky Svinov nádraží s přijíždějícím spojem osobní železniční dopravy ze směru Břeclav.

Tab. č. 2.2 – Návaznosti autobusových spojů MHD se spojem osobní železniční dopravy

Linka	Odjezd spoje linky MHD	Směr	Příjezd spoje EC Moravia	Přestupní doba (v min)
46	13:09	Družební	12:53	16
46	13:13	Polanka	12:53	20
51	13:15	Plesná	12:53	22
53	13:11	Polanka	12:53	18
37	13:13	Studentské koleje	12:53	20
37	13:01	ÚAN	12:53	8

Hlavní nádraží má návaznosti s MHD zajištěny tramvajovými linkami č. 1,2,8,18 a trolejbusovými linkami č. 101, 102, 108 a 111. Přičemž linka č. 18 je noční linka, která zajišťuje spojení mezi Hlavním nádražím a Dubinou Interspar, přes Mariánské náměstí a Svinov mosty. Trolejbusová linka č. 111 je také noční linka. Zastřešení prostoru ve tvaru zaoblené trojcípé hvězdy, umožňuje cestujícím i v nepříznivém počasí bezproblémový přístup z nádraží k zastávce tramvají a k trolejbusům.

Tab. č. 2.1 – Návaznosti MHD se spojem osobní železniční dopravy

Linka	Příjezd spoje linky MHD	Odjezd spoje Pendolino	Přestupní doba (v min)
1	4:51	5:11	20
2	5:03	5:11	8
8	4:49	5:11	22
101	5:04	5:11	7
102	5:04	5:11	7
108	5:01	5:11	10

V tabulce č. 2.1 je návaznost linek MHD se spojem osobní železniční dopravy odjíždějící z Hlavního nádraží směr Praha.

Nádraží Ostrava-střed vzniklo na základě koncese pro stavbu Ostravsko-frýdlantské dráhy. Původním cílem stavby této stanice byla osobní doprava. Dodnes je stanice Ostrava střed pro směr Frýdek Místek a pohoří Beskyd rozhodující z hlediska přepravy osob. V bezprostřední blízkosti této stanice se nachází rozsáhlý prostor bývalého areálu koksovny Karolina, kde lze po rozsáhlé výstavbě, která nyní probíhá, očekávat rozvoj,

neboť se tato rozsáhlá lokalita nachází v centru Ostravy. Pak snad dojde také k výstavbě modernější budovy, případně k přestavbě celého nádraží. Výhodná poloha nádraží spočívá v krátké docházkové vzdálenosti na Náměstí republiky, kde se nachází hlavní uzel tramvajové dopravy, dále pak zastávka trolejbusových linek.

Nádraží Ostrava-Vítkovice je v současnosti již k osobní přepravě méně využíváno. Odjíždí odtud především spoje ve směru Český Těšín, Opava. Dostupnost nádraží MHD je tramvajovými linkami č. 3 a 11. Dále autobusovou linkou č. 96.

Nádraží Ostrava-Kunčice patří také k méně významným nádražím z hlediska využití k osobní přepravě. Odjezdy spojů především ve směru Český Těšín, Ostravice a Frýdek Místek. Také je možno využít spojení do Ostravy Svinova, kde navazují spoje do větších měst jako například Brno a Praha. Dostupnost nádraží MHD je tramvajovou linkou č. 9 a autobusovou linkou č. 82.

Centrálním bodem autobusové dopravy v Ostravě je Ústřední autobusové nádraží v Moravské Ostravě na ulici Vítkovická. Odtud odjíždí autobusové spoje příměstské dopravy i dálkové a mezinárodní autobusové dopravy. Dálkové především ve směru Brno, Praha, Luhačovice, Zlín, Šumperk, Jeseník, Mohelnice, Opava. Mezinárodní spoje do významných evropských měst, například Londýn, Brusel, Berlín, Mnichov, Ženeva, Benátky.

Návaznost je také zajištěna několika autobusovými linkami, linka č. 21 ve směru Datyně, linka č. 28 ve směru Bartovice, linka č. 37 směr Studentské koleje, přes nádraží Svinov. Dosažitelnost tohoto bodu hromadnou dopravou je z Náměstí republiky, kde se nachází hlavní uzel tramvajové dopravy. Dostupnost je také ze zastávky Náměstí republiky, kde se nachází konečná zastávka tří trolejbusových linek. Příchod na ÚAN od tramvajových a trolejbusových linek je zajištěn podchodem.

3 S použitím matematických metod prognózování stanovit změny v počtu přepravených osob

3.1 Přepravené osoby MHD

Přepravní požadavky vznikají z důvodů plnění cíle účelu přemísťování osob. Požadavky na přepravu osob se mění se změnou počtu obyvatel, životní úrovně, s růstem individuální automobilové dopravy, se změnami zaměstnanosti, s nedostatkem volných pracovních míst v místě bydliště, s koncentrací výroby, služeb, s prodlužováním doby studia, se snahou po časových úsporách. Tyto proměny mají zásadní vliv na hromadnou osobní dopravu, nevyjímaje městskou hromadnou dopravu. [1]

Cílem této kapitoly je sledovat změny v počtu přepravených osob MHD v Ostravě a určit míru jejich závislosti. Z materiálů DPO jsem získala údaje o počtu přepravených cestujících MHD v letech 1997 –2008. Počet přepravených osob se sleduje v jednotlivých měsících a následně vyhodnocuje celkový počet za rok. Základním údajem pro výpočet počtu přepravených osob je počet kusů prodaných jízdenek. 1 vydaná jízdenka = 1 přepravená osoba, bez ohledu na druh tarifu a cenu jízdného. V případě časových jízdenek se dále zohledňují koeficienty stanovené metodikou Ministerstva dopravy, která stanoví: počet přepravených cestujících na jízdenky časové se stanoví podle počtu prodaných kupónů (známek) ve sledovaném období podle vzorce:[4]

$$J = \sum (K \cdot L) \text{ [osoba]} \quad (3.1)$$

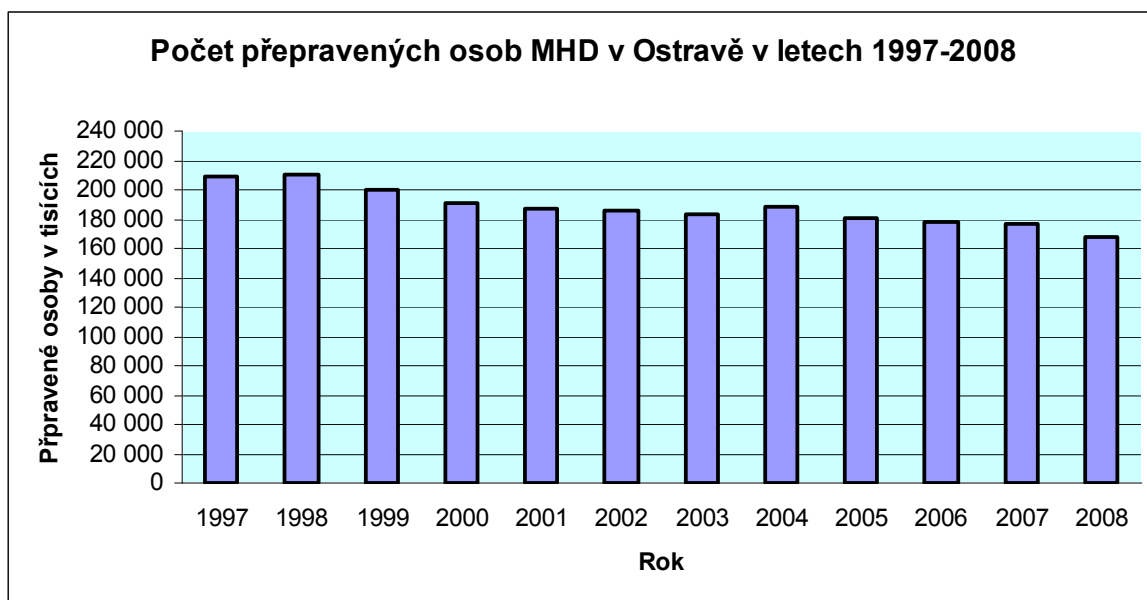
J..... počet přepravených cestujících časovými předplatnými jízdenkami
Σ součet přepravených osob za jednotlivé druhy cenných kupónů
K..... počet prodaných cenných kupónů jednotlivého druhu
L..... norma přepravených cestujících na jednotlivý cenný kupón

U časových jízdenek s platností kratší než 1 měsíc (například týdenní) se počet přepravených osob rovná násobku počtu dní platnosti jízdenky x 2. V případě bezplatně přepravovaných osob vychází DP Ostrava z odborného odhadu, což metodika Ministerstva dopravy dovoluje. Například u důchodců starších 70 let je výpočet následující: Počet přepravených osob v této kategorii je dán součinem hodnot průměrného počtu důchodců starších 70 let v Ostravě a průměrným počtem jízd MHD za měsíc.

Mezi bezplatně přepravované osoby patří dále děti do 6 let, průvodci ZTP/P, představitelé státní moci a některých státních orgánů a soudci.

Všichni cestující, kteří jsou přistiženi bez platné jízdenky a je jedno, zda zaplatí na místě, později, nebo vůbec (o každém případě se účtuje předpisem). Za tuto jízdu, při které byli přistiženi bez platné jízdenky, jsou zahrnuti do počtu přepravených osob. Cestujícím se totiž kromě sankce (tarifní přírážky) a popř. dalších vzniklých nákladů (soudní výlohy, poštovné a podobně) vždy naúčtuje i krátkodobá jízdenka, která vstupuje běžným způsobem jako prodaná jízdenka do počtu přepravených osob.

V roce 2005 došlo ke změně metodiky sčítání počtu přepravených cestujících. Ministerstvo dopravy ČR, pod které v současnosti tato problematika metodicky spadá, vydalo nové koeficienty na počet uskutečněných jízd jedním cestujícím na jednu jízdenku, přičemž tyto koeficienty se rapidně snížily. Například krátkodobá jízdenka měla původní koeficient počtu jízd 1,3 nově 1, dále 24 hodinová městská jízdenka měla koeficient 8, nově 2 apod. Dle těchto koeficientů je k dispozici přepočten počet přepravených osob od roku 2005. Z důvodů změny metodiky není možno provést přesné porovnání přepravených osob prováděných podle výpočtů s rozdílnými koeficienty. K dispozici jsou údaje za rok 2005, ve kterém bylo provedeno sčítání dle obou metodik sčítání. V obou případech sčítání dochází k neustálému snižování počtu přepravených osob MHD. Na základě těchto dvou výpočtů jsem provedla odhadovaný počet přepravených osob v letech 2006-2008, aby bylo možno provést porovnání delšího časového období.



Obr.č.3.1 - Vývoj počtu přepravených osob v letech 1997 – 2008 [4]

Údaje o počtu přepravených osob MHD v Ostravě mi byli poskytnuty z interních materiálů DP Ostrava a.s.. Dále v příloze C přikládám počet přepravených osob MHD v letech 2005 – 2008, kdy bylo sčítání provedeno se změnami v metodice.

V letech 1997 až 2008 je zaznamenán každoroční pokles přepravených osob MHD, výjimkou je pouze rok 2004. V roce 2004 došlo ke zvýšení přepravených osob proti předešlým třem rokům. Avšak v roce 2005 již opět došlo ke snížení a vývoj pokračoval jako v předcházejících letech. Důvodů proč obyvatelé ke své přepravě zvolili méně často hromadné dopravní prostředky může být několik.

3.2 Metoda hodnocení míry závislosti

Pro posouzení míry závislosti počtu přepravených osob MHD s faktory, u kterých je předpoklad, že by tento počet mohly ovlivňovat, jsem provedla korelační analýzu. Použitá metoda – Spearmanův korelační koeficient.

Proměnná veličina závisláy

Proměnná veličina nezávislá.....x

Prověřuji existence závislosti mezi proměnnou x a y a sílu této závislosti. Pomocí statistiky zde neurčíme příčinu nebo následek, ale pouze zda existuje mezi veličinami vztah – korelace. Spearmanův korelační koeficient je založený na pořadích jedinců uspořádaných podle velikosti vzhledem k oběma vyšetřovaným znakům.

Pro korelační koeficient platí:

- Nabývá hodnot od -1 do $+1$
- V případě kladné korelace hodnoty obou proměnných zároveň stoupají.
- V případě záporné korelace hodnota jedné proměnné stoupá a druhé klesá
- Hodnoty blízké 0 vypovídají o neexistenci lineárního vztahu

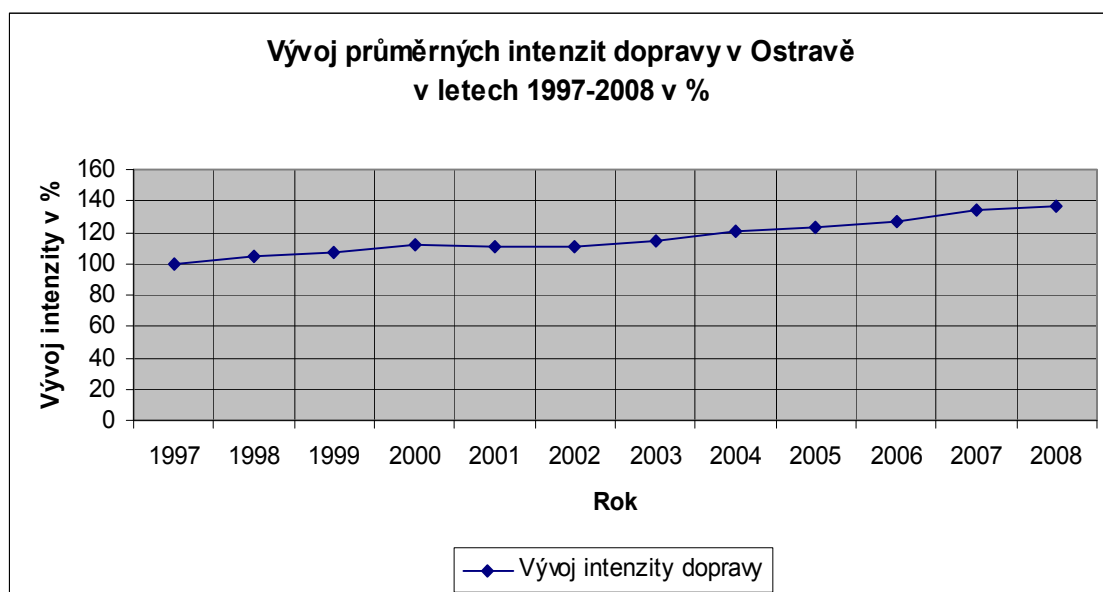
Postup testování závislosti: Jednotlivé hodnoty x_i , y_i , veličin x a y očísloji podle velikosti 1,2,...,n. Následně vypočítám $d_j^2 = (i_x - i_y)^2$ a dosadím do vzorce:[3]

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot n \sum_{j=1} d_j^2}{n \cdot (n^2 - 1)} \quad (3.2)$$

V literatuře, ze které jsem čerpala [3], se neuvádí testová statistika, ale kritické hodnoty Spearmanova koeficientu pro daný počet pozorování a hladinu významnosti 0,05 nebo 0,01. Podle vzorce (3.2) jsem vypočítala hodnotu Spearmanova koeficientu, stanovila jsem jeho absolutní hodnotu a tuto absolutní hodnotu porovnám s kritickou hodnotou uvedenou v tabulce. Hladinu významnosti volím 0,05. Pokud absolutní hodnota Spearmanova koeficientu překročí kritickou hodnotu, potom se zamítá hypotéza o nezávislosti obou proměnných. Mezi proměnnými je prokázán lineární vztah. V opačném případě se nezamítá nulová hypotéza o nezávislosti proměnných. Ve všech případech posuzování závislosti jsem zvolila soubory v rozsahu $n = 12$. Přepravené osoby jsou proměnné veličiny závislé – y.

3.3 Míra závislosti intenzity dopravy

Dynamický rozvoj individuální automobilové dopravy (IAD) v posledních letech přinesl problémy hlavně do velkých měst. Nacházíme se v období, kdy se strmý nárůst IAD zmírnil, ale se vzrůstající životní úrovní obyvatelstva je možné očekávat další snižování podílu cest městskou hromadnou dopravou.



Obr. 3.2 – Vývoj průměrných intenzit dopravy v letech 1997- 2008 v % [6]

Vývoj průměrné intenzity dopravy v Ostravě od roku 1997 do roku 2008 je znázorněn v grafu 3.2. Vývoj je zaznamenán v % s tím, že rok 1997 je položen na úrovni 100 %. V průběhu sledovaného období intenzita dopravy v Ostravě téměř každoročně narůstala. V roce 2008 vzrostla intenzita dopravy celoplošně o 2,9 %. Z celkového složení dopravy se téměř v 80 % jedná o osobní automobily

Ostravské komunikace a.s. se mimo jiné zabývají sledováním intenzity dopravy na území města Ostravy. Sčítání probíhá dle Metodiky sčítání intenzit dopravy. Sčítání je prováděno na vybraných křižovatkách a profilech, kordonu města a centra. Při provádění sčítání jsou používány dohledové ústředny se sčítáním přechodů nebo křižovatek řízených SSZ, pokud jsou opatřeny sčítacími smyčkami a moduly. Dále pomocí sčítacích karet NC – 30X a ručním sčítáním se zápisem do formulářů.

Posouzení míry závislosti mezi vývojem intenzity dopravy a počtu přepravených osob MHD v Ostravě jsem provedla dle popsané metody v kapitole 3.2, pomocí Spearmanova korelačního koeficientu, vzorec (3.2). Nezávislá proměnná veličina x je intenzita dopravy.

Tab.č.3.1 – Výpočtová tabulka

x_i	y_i	pořadové číslo		i_x	i_y	$d_i^2 = (i_x - i_y)^2$
		x_i	y_i			
100	209 498	1	12	1	12	121
104,6	210 717	2	11	2	11	81
106,6	200 227	3	10	3	10	49
111,4	190 706	6	9	6	9	9
110,3	187 651	5	7	5	7	4
110,2	185 530	4	6	4	6	4
114,7	183 696	7	5	7	5	4
121,2	188 107	8	8	8	8	0
123,2	181 281	9	4	9	4	25
127,1	178 017	10	3	10	3	49
134,3	176 518	11	2	11	2	81
136,8	167 983	12	1	12	1	121
						548

$$r_s = -0,9720$$

Kritická hodnota koeficientu $r_s(\alpha)$ - tabulka kritických hodnot [3]

Kritická hodnota pro $r_s(\alpha) = 0,5804$ pro $\alpha = 0,05$, $n = 12$

$$|r_s| = 0,9720 > 0,5804$$

Byla prokázána statisticky významná závislost mezi počtem přepravených osob MHD a vývojem intenzity dopravy. Mezi proměnnými je prokázán lineární vztah.

3.4 Míra závislosti cen PHM

Pro posouzení vlivu změny cen PHM na změnu počtu cestujících jsem provedla opět korelační analýzu. Ceny pohonných hmot v jednotlivých letech jsem použila z cen, které stanovilo Ministerstvo financí.[12] Průměrnou cenu pohonných hmot jsem počítala jako vážený průměr ceny benzínu Natural 95 a motorové nafty, přičemž váha benzínu Natural 95 byla položena jako 70% podílu a cena motorové nafty 30% podílu.

Tab.č. 3.2 – Průměrné ceny PHM a jejich vážený průměr (v Kč)

Rok	Natural 95	Motorová nafta	\bar{x}
1997	22,1	18,8	21,11
1998	22,5	18,02	21,21
1999	23,07	19,11	21,88
2000	28,89	24,84	27,67
2001	27,23	23,96	24,24
2002	24,36	21,62	23,53
2003	24,59	21,7	23,72
2004	26,72	24,98	26,19
2005	28,59	27,93	28,39
2006	29,82	29,04	29,58
2007	29,72	28,76	29,43
2008	30,34	31,68	30,74

Pro výpočet váženého průměru potřebujeme jednak hodnoty, jejichž průměr chceme spočítat a zároveň jejich váhy.

Máme-li soubor n hodnot

$$X = \{x_1, \dots, x_n\}$$

a k nim odpovídající váhy

$$W = \{w_1, \dots, w_n\}$$

Vážený průměr je dán vzorcem:[3]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (3.3)$$

\bar{x} vážený průměr.

W_i váha prvku i.

x_i hodnota prvku i

Posouzení míry závislosti jsem opět stanovila pomocí Spearmanova korelačního koeficientu, popsaného v kapitole 3.2. Nezávislá proměnná x jsou ceny PHM.

Tab.č. 3.3 – Výpočtová tabulka

x_i	y_i	pořadové číslo		i_x	i_y	$d_i^2 = (i_x - i_y)^2$
		x_i	y_i			
21,11	209 498	1	12	1	12	121
21,21	210 717	2	11	2	11	81
21,88	200 227	3	10	3	10	49
27,67	190 706	8	9	4	9	1
24,24	187 651	6	7	5	7	1
23,53	185 530	4	6	6	6	4
23,72	183 696	5	5	7	5	0
26,19	188 107	7	8	8	8	1
28,39	181 281	9	4	9	4	25
29,58	178 017	11	3	10	3	49
29,43	176 518	10	2	11	2	64
30,74	167 983	12	1	12	1	121
						517

$$r_s = -0,8076$$

Kritická hodnota koeficientu $r_s(\alpha)$ - tabulka kritických hodnot [3]

Kritická hodnota pro $r_s(\alpha) = 0,5804$ pro $\alpha = 0,05$, $n = 12$

$$|r_s| = 0,8076 > 0,5804$$

Byla prokázána statisticky významná závislost mezi počtem přepravených osob MHD a vývojem průměrných cen pohonných hmot. Mezi proměnnými byl prokázán lineární vztah.

3.5 Míra závislosti počtu obyvatel a zaměstnanosti

Stejně jako u řady jiných měst v Moravskoslezském kraji a v celé České republice, lze z vývoje počtu obyvatel města Ostravy pozorovat úbytek obyvatel a jejich postupné stárnutí. Pokračuje trend, kdy se lidé stěhují z velkých měst do obcí v blízkosti metropoli.

Ostravu, jakožto srdce průmyslového regionu severní Moravy, zasáhla vlna nezaměstnanosti v 90. letech minulého století v důsledku zavírání dolů a snižování počtu zaměstnanců ve velkých podnicích. V letech 2004 – 2008 však docházelo k neustálému snižování evidovaných uchazečů o zaměstnání.

Z údajů poskytnutých Úřadem práce v Ostravě a Magistrátem města Ostravy jsem sestavila tabulku č. 3.4, kde je přehled vývoje počtu obyvatel a počtu registrovaných uchazečů o zaměstnání v letech 1997 až 2008.

Pro posouzení závislosti mezi vývojem počtu obyvatel a přepravenými osobami MHD jsem opět použila korelační metodu. Nezávislá proměnná je zde počet obyvatel.

Tab.č. 3.4 – Výpočtová tabulka

x_i	y_i	pořadové číslo		i_x	i_y	$d_j^2 = (i_x - i_y)^2$
		x_i	y_i			
322 565	209 498	12	12	12	12	0
321 269	210 717	11	11	11	11	0
319 807	200 227	10	10	10	10	0
318 749	190 706	9	9	8	9	0
318 482	187 651	8	7	6	7	1
316 733	185 530	7	6	4	6	1
315 009	183 696	6	5	2	5	1
313 568	188 107	5	8	1	8	9
312 132	181 281	4	4	9	4	0
310 284	178 017	3	3	7	3	0
308 104	176 518	2	2	5	2	0
305 816	167 983	1	1	3	1	0
						12

$$r_s = 0,9580$$

Kritická hodnota koeficientu $r_s(\alpha)$ - tabulka kritických hodnot [3]

Kritická hodnota pro $r_s(\alpha) = 0,5804$ pro $\alpha = 0,05$, $n = 12$

$$|r_s| = 0,9580 > 0,5804$$

Byla prokázána statisticky významná závislost mezi počtem přepravených osob MHD a počtem obyvatel Ostravy. Mezi proměnnými byl prokázán lineární vztah.

Tab. č. 3.5 – Počet obyvatel a evidovaných uchazečů o zaměstnání [8] [5]

Rok	Počet obyvatel	Počet evid. uchazečů o zaměstnání
1997	322 565	12094
1998	321 269	18909
1999	319 807	25523
2000	318 749	26402
2001	318 482	25588
2002	316 733	27807
2003	315 009	29470
2004	313 568	28892
2005	312 132	25901
2006	310 284	22750
2007	308 104	17853
2008	305 816	15362

Posouzení závislosti mezi počtem přepravených osob MHD a počtem registrovaných uchazečů o zaměstnání. Nezávislá proměnná x jsou uchazeči o zaměstnání.

Tab.č.3.6 - Výpočtová tabulka

x_i	y_i	pořadové číslo		i_x	i_y	$d_j^2 = (i_x - i_y)^2$
		x_i	y_i			
12094	209 498	1	12	1	12	121
18909	210 717	4	11	4	11	49
25523	200 227	6	10	6	10	25
26402	190 706	9	9	9	9	0
25588	187 651	7	7	7	7	0
27807	185 530	10	6	10	6	16
29470	183 696	12	5	12	5	49
28892	188 107	11	8	11	8	9
25901	181 281	8	4	8	4	16
22750	178 017	5	3	5	3	4
17853	176 518	3	2	3	2	1
15362	167 983	2	1	2	1	1
						291

$$r_s = -0,0174$$

Kritická hodnota koeficientu $r_s(\alpha)$ - tabulka kritických hodnot [3]

Kritická hodnota pro $r_s(\alpha) = 0,5804$ pro $\alpha = 0,05$, $n = 12$

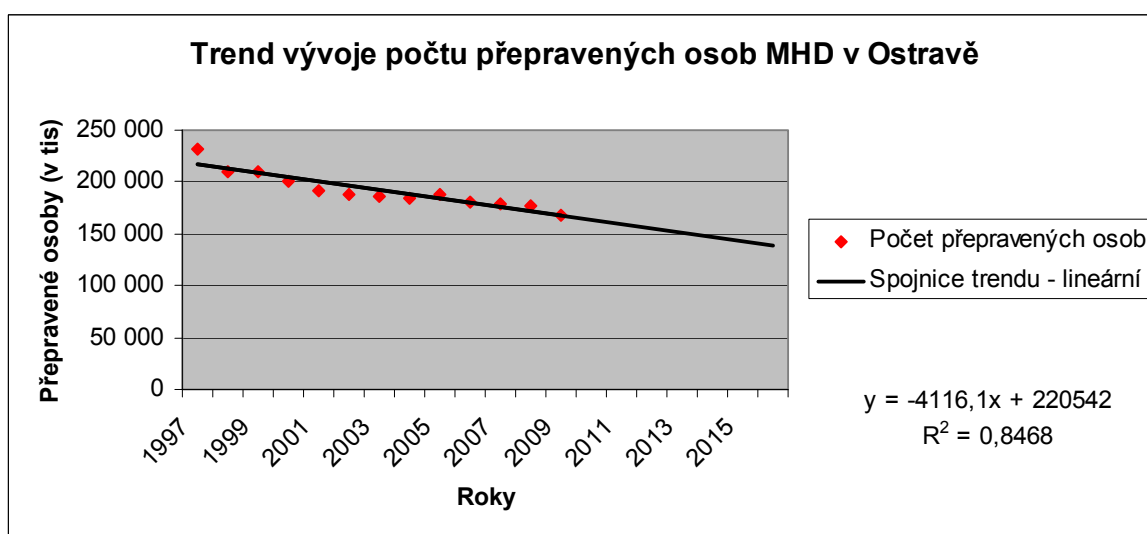
$$|r_s| = 0,0174 < 0,5804$$

Nebyla prokázána závislost mezi počtem přepravených osob MHD a počtem evidovaných uchazečů o zaměstnání.

3.6 Regresní analýza

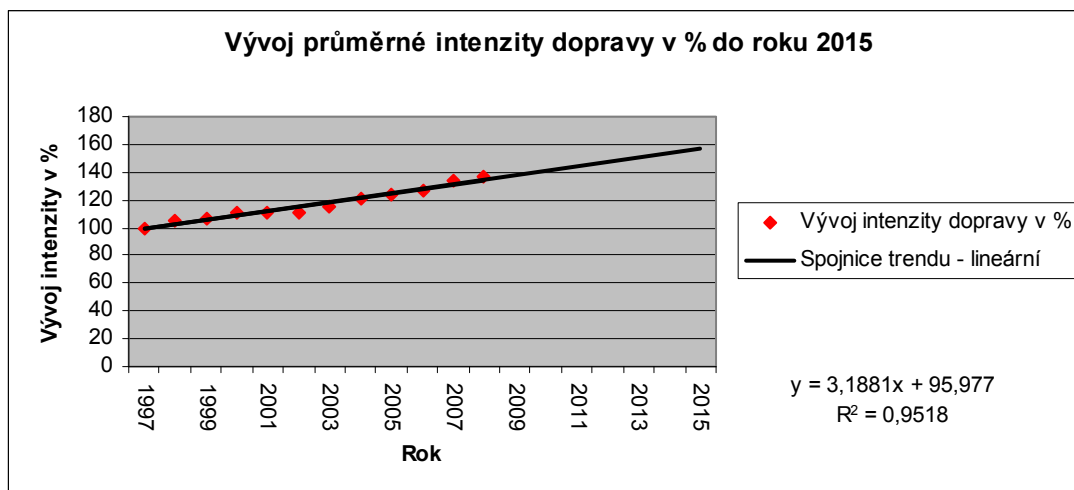
Na základě zaznamenaného vývoje v počtu přepravených osob městskou hromadnou dopravou za období od roku 1997 do roku 2005 a odhadovaného počtu v letech 2006 až 2008 jsem vytvořila spojnicový graf a přidala spojnici trendu, která je prognózou jakým směrem se bude počet cestujících vyvíjet do roku 2015. Použitá metoda: Regresní analýza v prostředí MS Excel. Index determinace R^2 udává kvalitu regresního modelu, jak přesně odpovídají předpokládané hodnoty spojnice skutečným. Tento index nabývá hodnot od 0 do 1. Přičemž hodnoty blízké nule svědčí o špatné kvalitě regresního modelu, hodnoty blízké jedné značí dobrou kvalitu regresního modelu. [3]

V grafu č. 3.3 je znázorněno, jak by mohl probíhat vývoj přepravených osob v MHD v Ostravě v následujících letech až do roku 2015. Trend předchozích let zůstává stejný a počet cestujících MHD se nadále snižuje.



Obr. č. 3.3 – Trend vývoje přepravených osob MHD v Ostravě do roku 2015

Stejnou metodou jsem vytvořila trend vývoje intenzity dopravy do roku 2015.



Obr. č. 3.4 – Vývoj průměrné intenzity dopravy v Ostravě v %

4 Návrh na zvýšení spolehlivosti a hospodárnosti MHD

4.1 Preference na SSZ

V Ostravě tak jako ve všech městech s rozvinutým automobilismem je provoz městské hromadné dopravy více či méně ovlivňován a rušen intenzivní automobilovou dopravou. V městském provozu jízdy vozidel MHD v kolonách automobilů, nutností dávat přednost automobilům při vyjíždění z vedlejších vjezdů neřízených křižovatek, zastavováním a zdržováním se před světelnou signalizací.

Jedním z nejvýznamnějších zdrojů rušení pro vozidla MHD je hustá síť světelných signalizačních zařízení, neboť zdržení před SSZ snižuje cestovní rychlost MHD a tato zdržení při jednotlivých jízdách ovlivňují pravidelnost dopravy. Zastavování před SSZ na signál stůj mimo zastávky navíc zvyšuje energetickou náročnost provozu MHD. Vliv SSZ na MHD se projevuje v nadprůměrné míře obzvláště v centru města, kde je síť řízených křižovatek nejhustší. Dále na koordinovaných tazích, které vytvářejí tzv. zelenou vlnu pro automobilovou dopravu, ale při tradičním schématu řízení většinou pro MHD znamenají stání před SSZ.

Pro koordinované tahy tak vznikl charakteristický jev, kdy se jízda dopravními prostředky MHD změnila na popojíždění hustým sledem SSZ, což znamená zdržení

pro cestující, často i před křižovatkami zcela nevýznamných obslužných komunikací nebo před přechody pro chodce.

V Ostravě je MHD provozována tramvaji, autobusy a trolejbusy. Preference na SSZ pro autobusy a trolejbusy jsou spojeny především s vybudováním vyhrazených jízdních pruhů. Možnosti vybudování vyhrazených jízdních pruhů závisí na kontextu okolního prostředí. Zaměřila jsem se ve své práci na preference tramvají.

4.2 Preference tramvají

Preference tramvají světelnou signalizací znamená možnost přednostní volby a prodlužování signálu volno tak, aby tato tramvaj mohla projet světelně řízenou křižovatkou pokud možno bez zastavení nebo alespoň s minimálním zdržením. Na SSZ s jednoduššími dopravními poměry lze dosáhnout absolutní preference, na složitějších křižovatkách alespoň podmíněné preference. Způsoby řízení SSZ:

- Pevné - neměnná délka jednotlivých fází a jejich stejné pořadí, není možnost změn podle aktuálních dopravních nároků
- Dynamické - umožňuje volnou tvorbu podle aktuálních dopravních nároků zjišťovaných dopravními detektory, používá proměnnou délku fáze, různé pořadí fází, vkládání fází na výzvu, umožňuje preferenci.

Pro preferenci tramvají je nutné dynamické řízení. Pro dynamické řízení je potřeba :

- Vhodný řadič
- Detekce vozidel
- Řídící logika umožňující preferenci tramvají

Základním technickým předpokladem pro možnost zavádění preference při příjezdu do oblasti vlivu SSZ je jejich detekce. Pro detekci se podle místních podmínek a technického vývoje využívá celá řada technologií. Například trolejové kontakty, videodetekce, radiodetekce, indukční smyčky, datové smyčky. U tramvají v křižovatkách doplněných o požadovaný směr z dálkového ovládání výhybek. Evidovala jsem současný stav preferencí tramvají na křižovatkách v Ostravě. Přihlašování tramvají do křižovatky je v současnosti na území Ostravy níže uvedenými způsoby.

- Povel z výhybky
- Trolejový kontakt (nákladné na údržbu, používají se tam, kde nelze umístit do země smyčka)
- Datová smyčka – datová, rozlišuje druh vozidla
- Indukční smyčka – nerozlišuje druh vozidla

Dalším důležitým prvkem zavádění preferencí jsou řadiče. Řadič je elektrické zařízení, které řídí signální obrazy jednoho nebo více návěstidel SSZ. Řadiče se vybavují podle složitosti křižovatky tak, aby vyhověly požadavkům na počet signálních skupin, detektorů, programů, připojení do koordinace či na centrální úroveň. Řadičů jsou v Ostravě použity tři druhy, AŽD Praha, Siemens a Cross. Co se týče řadičů společnosti AŽD Praha, v Ostravě je těchto řadičů instalováno již jen malé množství, většinou se jedná o staré řadiče typu MR 20. Starší řadiče MR umožňují částečné dynamické řízení a v závislosti na složitosti křižovatky omezenou nebo žádnou preferencí tramvají. Zhruba polovina současných řadičů je značky Siemens, typ C 800 pracuje v kroku 1,0 sekund. Jejich nevýhodou pro dynamické řízení a zvláště pro preferenci MHD je reakční doba na podněty z detektorů, která se pohybuje kolem 2 sekund. Dalšími řadiči Siemens typu MS, MR. Ostatní řadiče Cross typu RS-2, RS-3 a nejnovější RS-4 umožňující dynamické řízení s preferencí tramvají. Současně může řadič Cross RS 4 sloužit jako hlavní řadič liniové nebo plošné koordinace.[4]

V zájmu zajištění větší plynulosti IAD jsou potlačovány preference MHD. Dochází k tomu především za silného provozu v dopravních špičkách, kdy se přepravuje nejvíce osob. Dopravní systém funguje nevyváženě, protože MHD ustupuje tlaku silící automobilové dopravy. MHD se stává pomalejší, méně plynulejší a tím méně atraktivní pro uživatele. Konkrétním příkladem je provoz v Ostravě-Porubě, kde jsou SSZ koordinovány především pro automobilovou dopravu, aby v době dopravní špičky nedocházelo k tvoření kolon automobilů. V příloze D přikládám seznam SSZ v Ostravě a druhy řadičů, které jsou zde umístěny.

Analýza tramvajových linek

Linka je souhrn dopravních spojení na trase dopravní cesty určené výchozí a cílovou zastávkou a ostatními zastávkami, na níž jsou pravidelně poskytovány přepravní služby podle platné licence a podle schváleného jízdního řádu.

Spoj je jízdním řádem časově a místně určené jednotlivé dopravní spojení mezi určitými místy v rámci pravidelné dopravní obsluhy těchto míst. Jako spoj se chápe jízda vozidla z místa na lince, kde je určen první nástup cestujících do vozidla do jiného místa na lince, kde je určen výstup všech cestujících. Tato místa se nazývají konečné zastávky. Zastávky mezi konečnými zastávkami se nazývají mezilehlé zastávky.

Doba spoje t_s je časový úsek mezi časem odjezdu spoje z jeho výchozí zastávky a časem příjezdu do jeho konečné zastávky. Zahrnuje dobu jízdy a součet dob zastávky mezilehlých zastávek na trase linky:[1]

$$t_s = t_j + \frac{n_z \cdot t_z}{60} \quad [\text{min}] \quad \Rightarrow \quad t_s = \frac{l_z \cdot 60}{V_t} + \frac{n_z \cdot t_z}{60} \quad [\text{min}] \quad (4.1)$$

t_j doba jízdy na lince [min]

n_z počet mezilehlých zastávek na lince [-]

t_z doba zastávky /střední hodnota na lince [s]

l_z provozní délka linky [km]

V_t technická rychlost linky [km/h]

Doba zastávky je doba zdržení vozidla v souvislosti se zastavením na zastávce. Je to součet doby potřebné na zastavení z určité jízdní rychlosti, doby stání na zastávce (během ní nastupují a vystupují cestující) a doby potřebné na opuštění prostoru zastávky až po dosažení určité jízdní rychlosti. [1]

$$t_z = t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad [\text{s}] \quad (4.2)$$

$$t_z = \frac{V_j}{3,6 \cdot b} + t_3 + \frac{V_j'}{3,6 \cdot a} \quad [\text{s}] \quad (4.3)$$

t_1 doba, která odpovídá reakci řidiče rozhodujícího se pro vjezd do zastávky [s]

t_2 doba potřebná na zastavení vozidla během změny rychlosti z $V_j > 0$ na $V_j = 0$ [s]

t_3 doba stání na zastávce [s]

t_4 doba potřebná na opuštění prostoru zastávky [s]

t_5 doba potřebná na dosažení rychlosti V_j od okamžiku opuštění zastávky [s]

a zrychlení [m/s^2] – mezní hodnota $a_{max} = 1,8 m/s^2$

b brzdné zpomalení [m/s^2] – mezní hodnota $b_{max} = 2,5 m/s^2$

V_j rychlost jízdy vozidla v okamžiku začátku brzdění [km/h]

V_j' rychlost jízdy vozidla ve směru k další zastávce [km/h]

U doby stání na zastávce t_3 se rozlišuje:

- doba závislá na rozsahu výměny cestujících (na obratu cestujících na zastávce)
– je proměnnou hodnotou závislou na počtu nastupujících a vystupujících na zastávce.
- doba nezávislá na rozsahu výměny cestujících – souvisí s technickými podmínkami doby zastávky jako je signalizace, otevření a zavření dveří.

$$t_3 = t_{nz} + {}^1t_c \cdot o_{nv} \quad [s] \quad (4.4)$$

t_{nz} část doby stání na zastávce nezávislá na počtu cestujících [s]

1t_c průměrná doba nástupu a výstupu 1 cestujícího [s/osoba]

o_{nv} počet nastupujících a vystupujících cestujících na zastávce [osoba]

Linkový interval dopravy i je časový úsek mezi dvěma po sobě následujícími spoji stejné linky v jednom přepravním směru měřený v profilu dopravní cesty: [1]

$$i = \frac{t_1}{{}^1N_1} \quad [\text{min}] \quad (4.5)$$

t_1 doba linky [min]

1N_1 počet vozidel (souprav) zařazených v provozu na lince v 1 směru [-]

Všechny tyto pojmy a vzorce uvádím, jelikož mají souvislost s následným průzkumem tramvajových linek, který jsem zpracovala a následně vyhodnotila.

V Ostravě je v provozu 17 tramvajových linek, z toho dvě jsou linky, které jezdí pouze v nočních hodinách. Provedla jsem u čtrnácti linek průzkumy pohybu tramvají na trase, měřila jsem dobu spoje, dobu zastávkových pobytů, dobu stání před SSZ, dále jsem zjišťovala počet SSZ na trase každé linky.

Průzkum jsem prováděla opakovaně, celkem desetkrát na každé tramvajové lince, s výjimkou linek č. 18 a č. 19, které jsou v provozu pouze v nočních hodinách zhruba od 23 hodin do 4:00 hodin. V tuto dobu je většina SSZ v Ostravě vypnuta. Dále pak jsem průzkum neprováděla na lince č. 5, která nemá na trase umístěno žádné SSZ. Zvolila jsem dobu odpolední přepravní špičky v pracovní dny.

Přepravní špička je časový úsek, ve kterém je intenzita přepravního proudu větší než průměr sledovaného období.

- ranní špička je intenzivnější, ale kratší,
- odpolední špička je delší, ale méně intenzivní.

Výsledky proto nelze použít plošně na celodenní provoz, především z důvodu méně četných intervalů některých linek mimo přepravní špičku a také z důvodu postupného vypínání SSZ v době od 20:00 hodin. Odpolední přepravní špička také nemá na všech tramvajových linkách stejně dlouhý časový úsek. V příloze D jsem sestavila přehled o SSZ v Ostravě a v příloze E jsou výsledky jednotlivých průzkumů na každé tramvajové lince. Získané údaje jsem zpracovala do tabulky č. 4.1 jako průměrné hodnoty vypočítané ze získaných měření.

Nejproblematictější úseky zdržení před SSZ jsem zaznamenala v Ostravě-Porubě a na Nádražní ulici v Moravské Ostravě. V Porubě je nastavena liniová koordinace pro automobilovou dopravu, což v praxi znamená, že vytváří tzv. zelenou vlnu pro automobilovou dopravu, ale pro vozidla MHD většinou znamená stání před většinou SSZ. Každým zastávkovým pobytem se vozidlo MHD vyřadí ze zelené vlny a při příjezdu ke křižovatce musí čekat na signál volno až do příštího cyklu řízení.

Nádražní ulice je další úsek, kde dochází k velkým zdržením tramvají před SSZ. Například SSZ na ulici Nádražní a 28.října, zde obzvláště v době špičky dochází k neúměrně dlouhým zdržením před SSZ, především pro tramvaje odjíždějící ze zastávky Elektra ve směru na Náměstí republiky.

Tab. č. 4.1 – Průměrná doba spoje tramvajových linek

Linka č.	Průměrná čistá doba jízdy (min)	Průměrná doba zastávkových pobytů (min)	Průměrná doba zdržení před SSZ (min)	Průměrná doba spoje (min)
1	25,71	3,49	3,41	29,20
2	30,59	3,76	3,28	34,35
3	33,90	4,43	2,56	38,33
4	27,31	4,21	2,43	31,52
6	20,71	4,50	2,21	25,21
7	33,06	4,04	3,55	37,10
8	34,03	4,41	5,40	38,42
9	33,56	4,82	2,07	38,38
10	17,16	3,90	1,46	21,06
11	28,70	4,55	4,06	33,25
12	38,77	5,26	4,03	44,03
13	23,78	4,66	1,14	28,44
14	10,35	1,03	1,02	11,38
17	31,59	3,73	2,46	35,32

4.3 Navrhovaná opatření

K tomu, aby na křižovatce fungovala preference je třeba, aby byla vybavena detekčními prvky. Zjistila jsem, že v Ostravě jsou pouze dvě křižovatky, které nejsou vybaveny žádnými detekčními prvky, jedná se o křižovatky Horní x Provaznická, Hlučínská x Slovenská. Na ostatních křižovatkách bych navrhovala postupnou výměnu indukčních smyček za datové smyčky.

Indukční detektor se skládá z indukční smyčky, vlastního detektoru a analytické jednotky. Ve vozovce se nachází v hloubce zhruba 30–60 mm kabelový vodič, vytvářející indukční smyčku. Smyčka je jedním z prvků obvodu nízkofrekvenčního generátoru, jehož frekvence se mění v závislosti na přítomnosti či nepřítomnosti vozidla nad indukční smyčkou.

Datová smyčka – snímač, je schopen rozpoznat, že je nad ním vysílač dat. Datové smyčky se mohou nastavit tak, že mohou rozeznat jedná-li se o tramvaj, autobus, trolejbus (ale i traktor apod.). Prostředky MHD v DPO vysílají pakety dat (druh trakce, zpoždění,

číslo vozu a další informace) a datová smyčka je schopna tato data přečíst a podle svého nastavení na ně reagovat, to znamená poslat příslušný signál do řadiče.

Trolejový kontakt funguje jako indukční smyčka. Jedná se o zařízení umístěné v trolejovém vedení. Při průjezdu soupravy se dotkne sběrací lišta pantografu tramvaje vodičů trolejového kontaktu, na základě tohoto dotyku dochází k elektrickému signálu ze sběrače. Oproti indukční smyčce má nevýhodu a tou je nutnost neustálé údržby, ale používá se v místech, kde by přes indukční smyčku v kolejišti mohly přejíždět automobily a posílat tak klamné signály.

Stáří řadiče není z hlediska preference vždy rozhodující, někdy je Siemens MS schopen reagovat na přihlášku, problém spočívá v možnostech nastavení řadiče. Například pokud by měla mimo tramvaje volno i některá další ramena, nebylo by to se staršími typy řadičů možné, jelikož mají omezené možnosti. Navrhují proto výměnu především nejstarších typů řadičů AŽD za moderní řadiče Cross RS-4.

Cross RS-4 například dokáže ovládat křižovatku se stmívacími LED diodami s napětím AC 42V. Mají výrazně nižší spotřebu při mnohem vyšší svítivosti. Výhoda spočívá v tom, že se odbourá jedna z nejčastějších závad, čímž jsou prasklé žárovky. V současnosti, když přestane svítit některá červená, tak se křižovatka vypne. V případě, když přestane svítit některá LED dioda, tak je to téměř nezatelné [13]. Tento typ řadiče je v Ostravě v současnosti pouze jeden, nově umístěný na Mariánském náměstí. Zatím jeho možnosti nejsou nijak využity.

Po dosazení detekčních prvků a vhodných řadičů je potřeba upravit software v křižovatce, aby na signály z detekce reagoval a vybavil preferenční volno nebo pozdržel již vybavené volno.

Průběh preference:

- Tramvaj projede místem přihlášení, tuto skutečnost zaznamená detektor
- Řadič přijme informaci z detektoru o přijíždějící tramvaji
- Řadič na základě řídicí logiky a zadaných dat vyhodnotí situaci. Provede odpovídající opatření – prodloužení některé fáze, vložení fáze, změnu pořadí fází
- Tramvaj projede místem odhlášení, tuto skutečnost zaznamená detektor
- Řadič přijme informaci z detektoru a uspokojuje další účastníky provozu

Příklad křižovatek v Ostravě, kde již je zavedena preference tramvají a způsoby udělení preferenčního volna. Křižovatka Výstavní x 28. října. Ve směru od Mariánského náměstí je ve vzdálenosti zhruba 200 metrů umístěna smyčka. Zde řadič přijme informaci a zareaguje podle předem nadefinovaného signálního plánu. Vloží další tramvaji volno do signalizačního plánu na úkor dalších signálních skupin. Křižovatka Ruská x Výstavní, zde se jedná o absolutní preference, řadič podrží již vybavené volno tramvaje bez omezení jiných signálních skupin. Křižovatka Plzeňská x Horní, řadič podrží již vybavené volno tramvaji na úkor jiné signální skupiny.

4.4 Teoretické rozdělení pravděpodobnosti

Chceme – li otestovat, zda se námi naměřená data řídí některým teoretickým rozdělením pravděpodobnosti, použijeme testování hypotéz. Postup probíhá v těchto krocích:[7]

- 1) Formulace nulové a alternativní hypotézy
- 2) Zvolení přijatelné chyby rozhodování α (hladina významnosti)
- 3) Volba testovacího kritéria,
- 4) Výpočet hodnoty testovacího kritéria,
- 5) Určení kritických hodnot testovacího kritéria,
- 6) Rozhodnutí – zamítnutí či nezamítnutí nulové hypotézy.

Podrobněji jsem se zaměřila na tramvajovou linku č. 8 a provedla jsem další průzkum pohybu na trase linky. Zvolila jsem linku č. 8, jelikož má nejdelší podíl délky po silnici a je jednou z páteřních linek tramvajové dopravy. Celkem jsem provedla 30 průzkumných opakovaných jízd v době přepravní špičky. Získala jsem tak více potřebných údajů, abych mohla provést statistické vyhodnocení, jestli se naměřená data řídí některým teoretickým rozdělením pravděpodobnosti.

Počet zdržení před SSZ

Počet zdržení před SSZ neodpovídal žádnému teoretickému rozdělení pravděpodobnosti. Pravděpodobnost počtu zdržení na SSZ je možno vyjádřit:[10]

$$p(A) = \frac{m}{n} \quad (4.6)$$

$p(A)$pravděpodobnost jevu A

m počet pokusů, kdy jev nastal

n celkový počet pokusů

Při svém průzkumu na lince číslo 8 jsem zaznamenala tyto stavy celkového počtu stání před SSZ: Stav, že stála tramvaj před SSZ 5 krát nastal ve dvou případech, tramvaj stála 6 krát nastal v sedmi případech, tramvaj stála 7 krát nastal v jedenácti případech, tramvaj stála 8 krát nastal v devíti případech, tramvaj stála 9 krát nastal v jednom případě.

Tab. č. 4.2 – Empirické pravděpodobnosti počtů stání před SSZ

Počet stání	5	6	7	8	9
Počet opakování	2	7	11	9	1
Empirická pravděpodobnost	0,066	0,233	0,366	0,3	0,033

Doba zdržení před SSZ

Rozlišují se dva typy náhodné veličiny – diskrétní náhodná veličina a náhodná veličina spojitá. Diskrétní – obor hodnot náhodné proměnné je konečná nebo nekonečná posloupnost. Spojitá – obor hodnot náhodné proměnné je určitý konečný nebo nekonečný interval.[7] Doba zdržení před SSZ je náhodná spojitá veličina. Zvolila jsem Weibullovo rozdělení, předpokládám, že doba zdržení před SSZ se řídí Weibullovým rozdělením.

Weibullovo rozdělení je velmi variabilní. Původně bylo odvozeno prof. Weibullem jako tříparametrické, ale pro běžné výpočty se vztahy výrazně zjednodušují převedením na dvouparametrické. Označuje se W3p resp. W2p. Změnou parametru tvaru „nahrazuje“ jiné zákony rozdělení, např. exponenciální, aproximuje normální rozdělení. Pracujeme tak pouze s jedním tvarem rovnic, nemusíme používat rovnice pro další typy rozdělení, a to je velmi výhodné při numerických výpočtech v prostředí tabulkového procesoru. Položením parametru polohy $c = 0$ vzniká W2p rozdělení. [11]

Nejprve jsem získala hodnoty teoretického Weibulova rozdělení pravděpodobnosti. Weibullovo rozdělení má dva parametry: m a t_0 . Následně budu testovat, zda se výběrový soubor, nebo-li doba zdržení před SSZ řídí Weibullovým rozdělením s danými parametry. V příloze F uvádím výpočty Weibulova rozdělení a získání parametrů m a t_0 .

$$m = 7,221$$

$$t_0 = 5,677$$

Tab. č. 4.4 – Průzkum pohybu linky č. 8

Průzkum linky č.8					
Pořadí měření	Čistá jízdní doba (min)	Doba zastávkových pobytů (min)	Počet stání před SSZ	Doba zdržení před SSZ (min)	Doba spoje (min)
1	35,42	4,23	8	6,41	39,65
2	34,29	4,39	7	5,28	38,68
3	35,17	4,32	8	6,16	39,49
4	33,44	4,24	6	4,43	37,68
5	32,50	4,33	6	3,49	36,83
6	33,43	4,46	5	4,42	37,89
7	34,62	4,39	7	5,61	39,01
8	34,50	4,42	8	5,49	38,92
9	35,32	4,31	8	6,31	39,63
10	35,42	5,01	7	6,41	40,43
11	34,39	4,32	7	5,38	38,71
12	34,23	4,44	6	5,22	38,67
13	33,50	4,51	6	4,49	38,01
15	34,49	4,27	8	5,48	38,76
16	34,38	4,33	7	5,37	38,71
17	34,98	4,46	7	5,97	39,44
18	34,04	4,51	6	5,03	38,55
19	34,37	4,38	7	5,36	38,75
20	33,17	4,42	6	4,16	37,59
21	32,90	4,29	5	3,89	37,19
22	35,35	4,49	9	6,34	39,84
23	35,30	4,51	8	6,29	39,81
24	34,30	4,43	7	5,29	38,73
25	34,55	4,38	7	5,54	38,93
26	35,15	4,48	7	6,14	39,63
27	34,69	4,27	8	5,68	38,96
28	33,32	4,34	6	4,31	37,66
29	35,08	4,38	7	6,07	39,46
30	35,34	4,56	8	6,33	39,90

Často používaný prostředek pro zobrazení průběhu náhodné veličiny je histogram četností. Používá se ke znázornění rozdělení absolutních nebo relativních četností spojitého znaku. Je to sloupcový graf, který lze charakterizovat následovně:

- Sloupce v histogramu jsou vždy vertikální. Jejich výška odpovídá četnosti (absolutní nebo relativní).
- Stupnice na vodorovné ose grafu je vždy ve stejných jednotkách.
- Šířka každého sloupce je úměrná šířce třídy posuzované veličiny.

Přibližnou šířku třídy lze odhadnout podle empirického vztahu: [11]

$$\Delta T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,3 \log N} \quad (4.7)$$

Určila jsem šířku třídy 0,4 a následně sestavila histogram četností. Získala jsem uvedené třídy a do nich přiřazený počet doby stání před SSZ, které svou délkou padly do tohoto intervalu.

Tab.č. 4.3 – Počet doby stání před SSZ přiřazený do tříd

Třídy	4	4,4	4,8	5,2	5,6	6	6,4	6,8
Četnost	2	2	3	1	9	3	8	2

Provedu χ^2 test dobré shody. Výpočet stupňů volnosti $\nu = r - k - 1$.

Testová statistika χ^2 : [7]

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} \quad (4.8)$$

n rozsah výběru

m_i empirické četnosti

p_i teoretické pravděpodobnosti.

Spočítala jsem hodnotu testové statistiky a tuto hodnotu porovnám s kritickou hodnotou testu na příslušné hladině α . Hladinu volím 0,05. Ve výsledku testu mohou

nastat dva případy. Buď je vypočítaná hodnota testové statistiky menší než kritická hodnota, což znamená, že nezamítáme nulovou hypotézu. V opačném případě, je-li vypočítaná hodnota testové statistiky větší než kritická hodnota, zamítáme nulovou hypotézu ve prospěch alternativní.

Tab. č. 4.5 – Výpočtová tabulka testové statistiky

třída	hranice tříd	m_i	$F(x_i)$	p_i	$n \cdot p_i$	$\frac{m_i - n \cdot p_i}{n \cdot p_i}$
1	0 - 4	2	0,076	0,076	2,301	0,067
2	4 - 4,4	2	0,146	0,701	2,104	
3	4,4 - 4,8	3	0,257	0,111	3,318	
4	4,8 - 5,2	1	0,411	0,154	4,628	0,002
5	5,2 - 5,6	9	0,595	0,184	5,524	
6	5,6 - 6	3	0,774	0,179	5,369	1,045
7	6 - 6,4	8	0,907	0,132	3,967	1,561
8	6,4 - 6,8	2	0,974	0,676	2,03	
9	6,8 - ∞	0	1	0,025	0,755	
	Σ	30				$\chi^2 = 2,675$

Test vyžaduje, aby všechny teoretické četnosti ($n \cdot p_i$) byly větší než 5. Pokud toto není dodrženo, je nutno sloučit třídy tak, aby podmínka byla dodržena. V případě mého řešení je nutno sloučit třídy 1+2+3, 4+5, 7+8+9. Počet tříd tak klesl z 9 na 4. Kritickou hodnotu χ^2_{krit} získám pro hladinu spolehlivosti $\alpha = 0,05$ a pro počet stupňů volnosti z tabulky kritických hodnot [3].

Počet stupňů volnosti: $\nu = 4 - 2 - 1 = 1$

Kritická hodnota: $\chi^2_{krit} = 3,84$

Vypočítaná hodnota: $\chi^2 = 2,675$

$$\chi^2 \leq \chi^2_{krit}$$

Zjistila jsem, že hodnota testové statistiky je menší než kritická hodnota ($2,675 < 3,84$), nezamítáme nulovou hypotézu o tom, že se doba zdržení před SSZ řídí Weibulovým rozdělením s parametry $m = 7,221$ a $t_0 = 5,677$.

5 Vyhodnocení návrhu

5.1 Efekty preference tramvají

Preference tramvají světelnou signalizací je možnost přednostní volby a prodlužování signálu volno tak, aby tramvaje mohly projet světelně řízenou křižovatkou pokud možno bez zastavení nebo alespoň s minimálním zdržením. Na SSZ s jednoduššími dopravními poměry lze dosáhnout absolutní preference, na složitějších křižovatkách alespoň podmíněné preference.

Vyhodnocení přínosu zavedení preferencí tramvají:

Z hlediska hospodárnosti:

- energetické a úspory dosažené snížením počtu zabrždění a rozjezdů tramvají před SSZ
- úspory na počtu tramvajových vozů v oběhu

Z hlediska spolehlivosti:

- zrychlování MHD ve městě
- zvyšování komfortu přepravy v MHD
- dodržování jízdních řádů

Aby byla tramvajová doprava dostatečně atraktivní pro cestující, musí být také rychlá a pravidelná.

5.2 Výpočet úspor rozjezdů na SSZ

Na základě údajů, které jsem získala průzkumem pohybu jednotlivých tramvajových linek jsem vypočítala průměrné doby spoje a průměrné cestovní rychlosti před preferencí a po zavedení preference. Na všech tramvajových linkách, které byly zahrnuty do průzkumu, by po zavedení preferencí došlo ke zkrácení průměrné doby spoje. Zvýšila by se také průměrná cestovní rychlost. Tyto údaje jsem sestavila do tabulky č. 5.1.

Dále by došlo ke značným energetickým úsporám, co se týká rozjezdů tramvají. Průměrná spotřeba energie jednoho rozjezdu tramvaje je 0,8 kW [4]. Cena jednoho

rozjezdů se mění s každou změnou ceny elektrické energie. Cena jednoho rozjezdu tramvaje při průměrné spotřebě 0,8 kW byla v době mého zpracování vyčíslena částkou 2,35 Kč. V tabulce 5.2 jsou zobrazeny celkové průměrné spotřeby energie podle počtu průměrných rozjezdů jednoho spoje ve špičce na každé lince a dále ceny průměrného počtu rozjezdů.

Odpolední přepravní špička linky č. 8 je 4,5 hodiny, při intervalu 10 minut provozuje v této době celkem 54 spojů (dohromady v obou směrech). Průměrný počet zastavení jednoho spoje této linky před SSZ je 7. Průměrný počet zastavení před SSZ linky č. 8 v době odpolední přepravní špičky jednoho dne 378 představuje energetickou spotřebu rozjezdů tramvaje 302,4 kW. Jedná se pouze o odhadovanou úsporu na základě naměřených počtů stání průzkumem pohybu linky na trase deseti opakovanými jízdami v době přepravní špičky a následně vypočítaného průměrného počtu zastavení před SSZ. Konkrétní úspora odpovídá uskutečněnému počtu rozjezdů.

Tab. č. 5.1 – Průměrné doby spoje a rychlosti tramvajových linek

Linka č.	Průměrná provozní délka linky (km)	Průměrná doba spoje (min)		Průměrná cestovní rychlost (km/h)	
		Bez prefer.	Při prefer.	Bez prefer.	Při prefer.
1	11,60	29,20	25,79	23,86	27,03
2	12,50	34,35	31,07	21,85	24,17
3	15,70	38,33	35,86	24,53	26,29
4	12,75	31,52	29,09	24,28	26,34
6	10,65	25,21	23,00	25,35	27,81
7	14,15	37,10	33,55	22,89	25,31
8	13,70	38,42	33,02	21,41	24,90
9	15,90	38,38	35,31	24,88	27,04
10	9,25	21,06	19,60	26,35	28,37
11	12,50	33,25	29,19	22,56	25,72
12	14,70	44,03	40,00	20,05	22,07
13	11,60	28,44	27,90	24,47	24,94
14	4,20	11,38	10,36	22,22	24,27
17	13,55	35,52	32,86	22,89	24,77

Počet tramvajových vozů v oběhu

Počet tramvajových vozů v oběhu se spočítá ze vzorce:[1]

$$t_o = 2 \cdot t_l = 2 \cdot (t_s + t_k) \text{ [min]} \quad (5.1)$$

$t_k \dots$ čas na konečné [min]

$t_0 \dots$ oběžná doba [min]

$t_s \dots$ doba spoje [min]

Linka č. 8

Před preferencemi:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot t_l = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (38,42 + 5) = 86,84 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{\text{šp}} = \frac{t_o}{i_{\text{šp}}} = \frac{86,84}{10} = 8,68 \Rightarrow 9 \text{ vozidel}$$

Po preferencích:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot t_l = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (34,01 + 5) = 78,02 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{\text{šp}} = \frac{t_o}{i_{\text{šp}}} = \frac{78,02}{10} = 7,80 \Rightarrow 8 \text{ vozidel}$$

Linka č. 7

Před preferencemi:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot t_l = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (37,10 + 5) = 84,2 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{\text{šp}} = \frac{t_o}{i_{\text{šp}}} = \frac{84,2}{10} = 8,42 \Rightarrow 9 \text{ vozidel}$$

Po preferencích:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot tl = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (33,55 + 5) = 77,1 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{sp} = \frac{t_o}{i_{sp}} = \frac{77,1}{10} = 7,71 \Rightarrow 8 \text{ vozidel}$$

Linka č. 11

Před preferencemi:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot tl = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (33,25 + 5) = 76,5 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{sp} = \frac{t_o}{i_{sp}} = \frac{76,5}{10} = 7,65 \Rightarrow 8 \text{ vozidel}$$

Po preferencích:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot tl = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (29,19 + 5) = 68,38 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{sp} = \frac{t_o}{i_{sp}} = \frac{68,38}{10} = 6,84 \Rightarrow 7 \text{ vozidel}$$

Linka č. 12

Před preferencemi:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot tl = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (44,03 + 5) = 98,06 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{\dot{s}p} = \frac{t_o}{i_{\dot{s}p}} = \frac{98,06}{10} = 9,81 \Rightarrow 10 \text{ vozidel}$$

Po preferencích:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot t_l = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (40,00 + 5) = 90,00 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{\dot{s}p} = \frac{t_o}{i_{\dot{s}p}} = \frac{90,00}{10} = 9,00 \Rightarrow 9 \text{ vozidel}$$

Linka č. 17

Před preferencemi:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot t_l = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (35,52 + 5) = 81,04 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{\dot{s}p} = \frac{t_o}{i_{\dot{s}p}} = \frac{81,04}{10} = 8,10 \Rightarrow 9 \text{ vozidel}$$

Po preferencích:

Oběžný čas linky:

$$t_o = 2 \cdot t_l = 2 \cdot (t_s + t_k) = 2 \cdot (32,86 + 5) = 75,72 \text{ min}$$

Počet vozidel:

$$N_{\dot{s}p} = \frac{t_o}{i_{\dot{s}p}} = \frac{75,72}{10} = 7,57 \Rightarrow 8 \text{ vozidel}$$

V provedeném výpočtu není zohledněna doba přestávky řidiče, která musí být uskutečněna nejpozději po 4 hodinách jízdy v délce trvání minimálně 30 minut. Pokud

by se zohlednila doba přestávky, došlo by ke zvýšení počtu vozidel o stejný počet v případě bez preferencí i po zavedení preferencí. Při snížení počtu tramvajových vozů v oběhu by samozřejmě také došlo ke snížení počtu řidičů, mechaniků a finančních nákladů na údržbu.

Tab. č. 5.2 – Přehled úspor po zavedení preferencí

Linka č.	Průměrný počet stání na SSZ	Průměrná spotřeba energie rozjezdů na SSZ jednoho spoje (v kW)	Celková průměrná cena rozjezdů na SSZ jednoho spoje (v Kč)	Úspora vozů v oběhu ve špičce
1	3	2,4	7,05	0
2	5	4	11,75	0
3	4	3,2	9,40	0
4	4	3,2	9,40	0
6	3	2,4	7,05	0
7	5	4	11,75	1
8	7	5,6	16,45	1
9	3	2,4	7,05	0
10	2	1,6	4,70	0
11	6	4,8	14,10	1
12	5	4	11,75	1
13	4	3,2	9,40	0
14	1	0,8	2,35	0
17	5	4	11,75	1

Výpočet cestovní rychlosti

Cestovní rychlost V_c je podíl ujeté vzdálenosti a cestovní doby (tzv. „hrubé jízdní doby“) mezi dvěma místy na lince. Z praktických důvodů je cestovní rychlost vypočítána následujícím výrazem s tím, že za ujetou vzdálenost je dosazena provozní délka linky a za cestovní dobu je dosazena doba spoje: [1]

$$V_c = \frac{l}{t_c} \cdot 60 \quad [\text{km/h}] \quad (5.2)$$

l ujetá vzdálenost mezi dvěma místy na lince [km]

t_c cestovní doba [min]

Teoreticky je nutné také uvažovat i s částí zdržení cestujících na konečné zastávce. Proto je cestovní rychlost podílem provozní délky linky a doby spoje na lince zvětšené o dobu zastávky. Zvětšení cestovní doby o dobu zastávky je dané tím, že cestovní doby cestujících obsahuje tak polovinu doby zastávky na každé z konečných zastávek z důvodu trvání nástupu a výstupu cestujících. Pak je cestovní rychlost: [1]

$$V_c = \frac{l_z}{t_s + t_z} \cdot 60 \quad [\text{km/h}] \quad (5.3)$$

l_z provozní délka linky [km]

t_s doba spoje na lince o provozní délce l_z [min]

t_z doba zastávky [min]

Vypočtené průměrné cestovní rychlosti bez preferencí a při preferencích jednotlivých linek jsou uvedeny v tabulce č. 5.1. U všech linek při zkrácení cestovní doby dochází ke zvýšení cestovní rychlosti. V tabulce také uvádím průměrné provozní délky všech linek, na kterých jsem prováděla průzkum.

5.3 Zvýšení spolehlivosti

Spolehlivost patří mezi ukazatele kvality MHD. Je to souhrnný ukazatel kvality, který vyjadřuje připravenost systému uspokojit potřeby jeho uživatelů, v případě MHD cestujících. Ovlivnit spolehlivost může několik faktorů, například dopravní cesta, dopravní prostředky, lidský faktor. Zavedením preferencí tramvají na SSZ se zajistí jejich plynulejší pohyb. Zkrácení cestovní doby a odpovídající zrychlení cestovní rychlosti.

Spolehlivost dopravy hodnotí úroveň naplnění jízdního řádu. Přesnost hodnotí úroveň naplnění jízdního řádu porovnáním skutečného průběhu spojů z hlediska času s údaji uvedenými v jízdním řádu. K hodnocení přesnosti dopravy je potřeba určit počet měření přesnosti spojů v profilech tratí za stanovené časové období. Dále je hodnocení přesnosti doplněno příčinami případné nepřesnosti.[1]

$$\eta_p = \frac{n_{sp}}{n_{spl}} \quad [-] \quad (5.4)$$

η_p součinitel přesnosti [-]

n_{sp} počet spojů přesných [-]

n_{spl} počet spojů celkem hodnocených [-]

Při průzkumu pohybu jednotlivých tramvajových linek jsem zaznamenávala cestovní doby a doby odjezdu a příjezdu na jednotlivé zastávky. Podle zaznamenaných hodnot jsem následně vypočítala součinitel přesnosti pro všechny sledované linky. Přičemž za celý přesný spoj je považován v MHD spoj, jehož odjezd je ze zastávek v toleranci v minutách od stanoveného jízdního řádu. DP Ostrava a.s. má zavedeno ISO a řídí se tolerancí (0,+3).

Tab. č. 5.3 - Vypočítané součinitele přesnosti tramvajových linek

Linka č.	Počet přesných spojů	Počet celkem hodnocených spojů	Součinitel přesnosti
1	8	10	0,8
2	8	10	0,8
3	9	10	0,9
4	7	10	0,7
6	9	10	0,9
7	8	10	0,8
8	21	30	0,7
9	8	10	0,8
10	9	10	0,9
11	9	10	0,9
12	9	10	0,9
13	8	10	0,8
14	10	10	1
17	8	10	0,8

V tabulce č. 5.3 jsou uvedeny vypočítané součinitele přesnosti jednotlivých tramvajových linek. Sledovaným obdobím byla odpolední přepravní špička. Počet měření u linky číslo 8 byl 30, u všech ostatních linek bylo provedeno 10 měření.

Příčiny nepřesností byly v případě mého měření způsobeny zdržením před SSZ. Především u linek, kde docházelo k největším zdržením před SSZ, jsem zaznamenala nejvíce nepřesných spojů. Pouze u linky č. 14 zjištěné nepřesnosti byly v toleranci (0,+3) a součinitel přesnosti této linky je roven 1.

6 Závěr

Motorizace v Ostravě nadále stoupá a nelze očekávat, že v budoucnosti dojde samovolně ke změně tohoto trendu. Individuální automobilová doprava přináší největší negativní účinky na životní prostředí a zdraví obyvatel, především v podobě výfukových plynů, vibrací, hluku a nehodovosti. Dále vyvolává dopravní kolapsy a zhoršuje plynulost provozu. Pro zlepšení životního prostředí a také jako řešení zlepšení dopravních situací je potřeba preferovat hromadnou dopravu, která je výrazně efektivnější. V porovnání s individuální automobilovou dopravou má nesrovnatelně nižší nároky.

Z údajů a dat, která jsem postupně zpracovala jsem zjistila, že podíl nákladů MHD na celkových nákladech DP Ostrava a.s. se neustále zvyšuje. Především zvyšováním cen PHM, energií a dlouhodobým snižováním počtu přepravených osob. Zvýšení atraktivity MHD v očích veřejnosti dosažené zkrácením cestovní doby a zvýšením pravidelnosti provozu by mohlo pozitivně působit na rozhodování občanů, zda více používat MHD. Zavedení preferencí je spojeno se snížením energetické náročnosti tramvajové dopravy a v některých případech také se snížením počtu vypravovaných vozů. Tyto úspory přispívají ke zlepšení hospodárnosti provozu.

Zavádění preferencí MHD v současnosti realizuje stále více velkých evropských měst, ale také některá města v České republice. Ve srovnání s automobily jsou tramvaje příznivější pro dopravní poměry ve městě, ohleduplnější k městskému prostředí a odlehčují vnitřní město od přetížení automobily. Investice do systémů preference MHD na světelných křižovatkách lze posuzovat jako nástroj pro ovlivnění dělby přepravní práce ve prospěch MHD. Příkladem úspěšnosti zavedení preferencí je například Německo a Francie. Ve Štrasburku mají tramvaje absolutní přednost a několikanásobně se zde zvýšil počet přepravených osob.

Rozhodování o přistoupení ke konkrétnímu preferenčnímu opatření záleží především na rozhodnutí města, do jaké míry chce provoz MHD preferovat.

7 Seznam použité literatury

- [1] Surovec, P. *Provoz a ekonomika silniční dopravy I*. 1. vyd. Ostrava: ES VŠB – TU Ostrava, 2000. 122 s. ISBN 80-7078-735-X.
- [2] Folprecht, J., Křivda, V., Frič, J., Olivková, I., *Městská hromadná doprava (vybrané statě)*. 1. vyd. Ostrava: ES VŠB-TU, 2005. 124 s. ISBN 80-248-0769-6.
- [3] Anděl, Jiří, I. *Statistické metody*. 2. přepracované vyd. Praha: MATFYZPRESS, 1998. 274 s. ISBN 80-85863-27-8.
- [4] Interní materiály DP Ostrava a.s.
- [5] Interní materiály Úřad práce v Ostravě
- [6] Interní materiály Ostravské komunikace a.s.
- [7] http://homel.vsb.cz/~dor028/KMOR_I.htm
- [8] Interní materiály Magistrátu města Ostravy
- [9] <http://www.drdla.wz.cz/skripta>
- [10] <http://homen.vsb.cz/~oti/cdpast1/>
- [11] <http://homel.vsb.cz/~krz011/>
- [12] <http://www.inexfin.cz/dokumenty/PrumcenyphonnnychhmotOSVC.pdf>
- [13] <http://www.cross.cz/cs/>
- [14] Interní materiály Koordinátor ODIS s.r.o.

8 Seznam příloh

Příloha A - Izochrony časové dostupnosti zastávek zvolené oblasti

Příloha B – Přehled vývoje cen jízdného MHD

Příloha C – Počet přepravených osob MHD dle nové metodiky sčítání

Příloha D – Seznam SSZ v Ostravě

Příloha E – Výsledky průzkumu na jednotlivých tramvajových linkách

Příloha F – Weibullovo rozdělení